



HYGEOS



INTERREG III-EXPER/PF

## **Programme INTERREG III Sous-programme franco flamand**

# **RAPPORT TECHNIQUE 2002**

### **PROJET EXPER/PF :**

**Exposition des Populations vivant au cœur de l'Euro-Région  
aux polluants atmosphériques : le cas des Poussières Fines**



## INTERREG III-EXPER/PF

### PARTICIPANTS AU PROJET

	<b>ADRINORD</b> : Association pour le Développement de la Recherche et de l'Innovation dans le Nord pas de Calais
	<b>APPA</b> : Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique
	<b>AREMA Lille Métropole</b> sur l'arrondissement de Lille
	<b>HYGEOS</b> HYdrogéologie, Observation Spatiale, Environnement
	<b>OPAL'AIR</b> pour les arrondissements de Boulogne, Calais, Dunkerque et Saint-Omer.
	<b>VLIZ</b> : Vlaams voor de Zee vzw (coordination et information de la recherche maritime en Flandre).
	<b>V.M.M.</b> Vlaamse Milieumaatschappij ( Société Flamande pour l'Environnement).
	<b>Partenaire Associé :</b> <b>Université d'Anvers (UIA)</b>





## INTERREG III-EXPER/PF

# SOMMAIRE

INTRODUCTION .....	6
<b>1. Action 0</b>	
<b>Coordination du projet.....</b>	<b>6</b>
Objectif de l'action 0 .....	6
1-1. Evolution du dossier.....	6
1-2. Animation du projet.....	7
a) Réunion du 11 mars 2002 dans les locaux de l'AREMA Lille Métropole : .....	7
b) Réunion du 18 septembre 2002 dans les locaux de l'APPA .....	8
1-3. Suivi du dossier .....	8
<b>2. Action 1</b>	
<b>Constitution d'une Base de Données euro-régionale sur les poussières.....</b>	<b>9</b>
2-1. La télédétection.....	9
a) Introduction .....	9
b) Généralités .....	9
2-1.1 La physique du signal satellitaire .....	9
2-1.2 La Des propriétés optiques des aérosols à leurs propriétés physiques .....	10
2-1.3 Les données satellitaires.....	11
2-2. Constitution d'une base de données euro régionale sur les poussières .....	11
a) Introduction .....	11
2-2.1 Définition du serveur de la base de données .....	11
2-2.2 Interface de communication du serveur avec l'extérieur.....	13
2-2.3 Accessibilité au serveur de la base de données.....	14
2-2.4 Contenu de la base de données .....	14
a) Données brutes fournies régulièrement par les réseaux de mesures qualités de l'air .....	14
i) Type de données .....	14
ii) Disponibilité des mesures et intégration dans la base de données.....	15
b) Données de campagnes de mesures ponctuelles fournies par les réseaux de mesures de la qualité de l'air (VMM, AREMA, OPAL'AIR).....	18
2-2.5 Données Satellitaires .....	18
2-2.5.1 Requêtes et traitement des données de la base.....	18
a) Référencement des mesures dans la base de données .....	18
b) Les requêtes .....	19
(i) Interrogation des mesures des réseaux qualité de l'air .....	19
(ii) Interrogation des données satellitaires .....	23
(iii) Interrogation combinées des données satellitaires et des données des réseaux qualité de l'air .....	23
2-2.6 Bibliographie des auteurs sur la télédétection des aérosols (Cf. Support Annexes 6 .....	28





## INTERREG III-EXPER/PF

### 3. Action 2 :

<b>Etude de cas autour de la Métropole Lilloise .....</b>	<b>29</b>
3-1. Objectifs .....	29
a) PM, formation et transport (VMM, AREMA LM) .....	29
b) PM, Caractérisation physico-chimique (Université d'Anvers) .....	29
3-2. Les méthodes expérimentales .....	29
a) PM .....	29
b) Composants mineurs, quels composants, quelle technique utiliser ? .....	31
c) Composants gazeux, quels composants, quelle technique utiliser ? .....	32
3-3. Les mesures en routine .....	32
a) PM .....	32
b) Composants mineurs .....	32
c) Composants gazeux .....	33
3-4. Les mesures spécifiques au projet .....	33
a) PM .....	33
b) Composants mineurs .....	33
c) Composants gazeux .....	34

### 4. Action 3 :

<b>Communication .....</b>	<b>36</b>
4-1 Présentation générale de l'action 3 .....	36
4-1.1. Veille scientifique et transfert des connaissances : .....	36
a) Commission « Particules et santé » de l'APPA .....	36
b) Objectifs : .....	36
c) Fonctionnement : .....	36
d) Transfert des connaissances et journées thématiques .....	36
4-1.2 Communication et valorisation du projet EXPER/PF .....	37
4-2 Actions concrètes réalisées .....	38
4-2.1 Action 3 : Communication .....	38
a) Rappel synthétique : .....	38
(i). Veille scientifique et transfert des connaissances : .....	38
(ii) Communication et valorisation du projet EXPER/PF .....	38
b) Réalisations de l'année 2002 .....	38
(i) Veille scientifique et transfert des connaissances : .....	38
• Commission Particules et santé » de l'APPA .....	38
• Veille scientifique .....	39
• Transfert des connaissances et journées thématiques .....	39
4-2.2 Communication et valorisation du projet EXPER/PF .....	40



HYGEOS



## INTERREG III-EXPER/PF

a) Communications présentées par les partenaires dans des colloques Scientifiques.....	40
b) Présentations du projet EXPER/PF aux experts, utilisateurs de la base, médias.....	40
c) Pages Web du projet EXPER/PF.....	40
d) Préparation du Colloque EXPER/PF de 2003.....	42





## INTERREG III-EXPER/PF

### INTRODUCTION :

On a voulu ici constituer en annexes, 2 rapports semestriels de l'année 1 (2002), un rapport technique détaillé qui reprenne les actions du projet. On a identifié une Action 0 qui correspond à l'animation du projet. Cette rubrique permet la traçabilité du déroulement du projet et la description des événements de coordination.

L'Action 1, de préparation à la base de données, a été fortement développée. Les activités de mesures in-situ se sont déroulées autour de la Métropole Lilloise dans le cadre de l'Action 2. Une campagne de mesures spécifiques a débuté en décembre 2002.

Enfin, sous la rubrique « communication », l'Action 3, en dehors d'événements liés à la thématique du projet, a consisté à sa promotion via des publications et réunions. Structuellement, la mise en place d'un groupe de travail, « Particules et Santé » permet une liaison du projet avec les partenaires de la santé. Enfin, une première version de la page web a été réalisée.

### 1. Action 0 : Coordination

Objectif de l'action 0 : Coordination du projet

#### 1-1. Evolution du dossier

- Dépôt d'une première version du projet Interreg III EXPER/PF le 31 octobre 2001 auprès des services de la Préfecture du Nord, avec comme chef de file « l'Université du Littoral Côte d'Opale ».
- Examen du projet par le Comité de Pilotage en mars 2002.

Le comité de pilotage s'est réuni le 5 mars à Namur à propos du projet EXPER/PF et a émis un avis favorable sous réserve de quelques modifications et justifications.

- Examen du projet par le Comité de Pilotage en mai 2002.
- Les budgets des partenaires modifiés et un nouveau plan de financement sont soumis au comité de pilotage lors de sa réunion du 07 mai 2002.

VMM : propose d'apporter des modifications en réduisant :

- le poste personnel (161 000 à 151 000 €).
- le poste fonctionnement :
  - a. Suppression de la campagne de mesures LIDAR (l'approche expérimentale n'étant pas essentielle au projet).
  - b. Suppression des mesures par échantillons passifs (partie reprise par l'UIA).
  - c. Augmentation des frais de missions.
  - d. Reprise des frais d'installation des compteurs de particules et du laboratoire mobile.
- Le poste investissement :
  - a. Réduction de l'amortissement des équipements d'échantillonnage et des 4 compteurs de particules à 2 annuités (démarrage des mesures début 2003).





## INTERREG III-EXPER/PF

- b. Suppression de l'acquisition d'un échantillonneur Hi Vol.
- c. Reprise de l'amortissement de l'équipement analytique XRF et AAS.

Application d'une baisse de 6, 5 % du total des budgets initiaux (lorsque c'est possible).  
Modification des budgets de chaque partenaire. Création d'une action 0.

- En septembre, désignation d'un nouveau chef de file par les partenaires du projet. Nomination « d'ADRINORD ». Mise à jour du dossier en application de cette décision. Création d'une action 0. correspondant aux travaux de coordination du projet, l'enveloppe budgétaire globale n'étant pas modifiée.

- En décembre, dépôt du dossier définitif.

### 1-2. Animation du projet

#### a) Réunion du 11 mars 2002 dans les locaux de l'AREMA Lille Métropole

- Thème « Projets euro-régionaux INTERREG »

#### Agenda :

-Présentation du Projet INTERREG II et du projet franco-flammand INTERREG III EXPER/PF, par R. Santer, responsable scientifique du projet (Cf. Support Annexe 1).

- Présentation du projet INTERREG franco-britannique ATTMA, par D. Ramon, HYGEOS (Cf. Support Annexe 2).

- Présentation du projet franco-britannique sur l'instrumentation, par R. Santer, (Cf. Support Annexe 3).

- Présentation de l'APPA, de ses outils/soutiens de communication par C. Schadkowski, APPA.

- Divers, Nouvelles du projet EXPER/PF. (Cf. Support Annexe 4).

#### **Résumé :**

#### Organisation des tâches du Projet EXPER/PF

\* Définition, travail commun de ce que doit être la base de données par les utilisateurs de la banque de données et des fournisseurs.

\* Développement et réalisation à moyen terme du prototype de la base de données en corrélation avec les projets ATTMA & EXPER/PF (compatibilité, adaptation) complété par une phase test (questionnaire auprès des utilisateurs potentiels).

\* Organisation de campagnes de mesures autour de la métropole lilloise (décembre 2002 et 1<sup>er</sup> semestre 2003), exercices d'inter comparaison ; PM caractérisation physico-chimique ; création d'un comité d'expert qui se réunira chaque semestre pour échanger les informations.

\* Publication des différents résultats du projets (brochures, brèves à destination de la presse régionale et nationale...), hébergement sur le site web de l'APPA, création de liens vers les sites existants des partenaires.



## INTERREG III-EXPER/PF

### b) Réunion du 18 septembre 2002 dans les locaux APPA

#### Agenda :

- *Information générale* \_\_\_\_\_ **R. Santer**
  - Administration : Les règles à observer.
  - Les projets jumeaux INTERREG.
- *La base de données* \_\_\_\_\_ **D. Ramon, HYGEOS (Cf. Support Annexe 5)**
  - Qu'existe t-il vraiment ?
  - Les besoins des utilisateurs finaux. La stratégie.
  - Pré-définition de la base de données.
- *Mesures du champ,* \_\_\_\_\_ **E. Roekens, VMM**
  - Les mesures existantes.
  - Organisation de la campagne.
  - Analyse des données.
- *Communication et diffusion du résultat,* \_\_\_\_ **Valérie Malrieu, APPA**
  - Site Web.
  - Diffusion.

### 1-3. Suivi du dossier

#### 1<sup>er</sup> semestre 2002 :

ADRINORD était en position d'opérateur chargé de constituer l'équipe scientifique sous la responsabilité de R. SANTER, de procéder aux recrutements, d'assurer la gestion des contrats de travail, de mettre en place les outils de suivi d'activités et une comptabilité propre au projet.

#### 2<sup>ème</sup> semestre 2002 :

ADRINORD a poursuivi sa mission comme ci-dessus. En outre, à compter de sa désignation comme chef de file, ADRINORD s'est chargée de préparer le dossier définitif en recueillant auprès des partenaires tous les éléments actualisés (délibérations, budgets...), a procédé au dépôt du dossier, a pris les contacts nécessaires pour l'organisation de la première réunion du Comité d'Accompagnement Transfrontalier et commencé à préparer les documents à soumettre à ce Comité.





## INTERREG III-EXPER/PF

### 2. Action 1 : Constitution d'une base de données euro-régionales sur les poussières

#### 2-1. La télédétection

##### a) Introduction

La télédétection est présentée ici comme un complément innovant des mesures in-situ de PM10 et de PM2.5 effectuées en routine dans les réseaux de surveillance de la qualité de l'air. Dans cette phase préparatoire du projet EXPER/PF, on a mis en place un outil (i) en développant une méthode de traitement des données spatiales et (ii) en collectant ce type de données.

Ce travail s'appuie sur une longue expertise présente à l'Université du Littoral Côte d'Opale et transférée chez ADRINORD et HYGEOS dans le cadre d'activités de Recherche et Développement principalement à la demande de l'Agence Spatiale Européenne. Sur ce thème plus spécifique des particules, on a aussi bénéficié du soutien du Feder dans le cadre du projet franco-flamand.

Une première partie de généralités nous permettra de rappeler les principes de la télédétection, d'introduire les capteurs satellitaires utilisés dans ce projet et de faire le point sur nos acquis.

Dans une deuxième partie, on présentera le travail effectué en propre dans le cadre du projet. Enfin, on va décrire dans une partie perspective, les possibilités d'amélioration de la chaîne de traitement.

##### b) Généralités

#### 2-1.1 La physique du signal satellitaire

Le capteur satellitaire observe depuis l'espace la partie du rayonnement solaire réfléchi par le système terre-atmosphère-océan. Le domaine de longueurs d'onde s'étend du bleu (412 nm) au proche infra-rouge (865 nm).

Depuis l'espace, on peut voir les aérosols, en particuliers, lors d'épisodes de poussières importants. C'est le cas des tempêtes de poussières sahariennes qui traversent l'atlantique ou la Méditerranée. Mais c'est aussi le cas dans nos régions lors d'épisodes de pollution important tel celui du 3 septembre 1999 bien visible sur l'image satellitaire, en particulier au dessus du Déroit du Pas de Calais (voir figure 1).

On voit les aérosols, car ils diffusent la lumière du soleil (on devrait dire rétro diffusent car depuis l'espace, on a le soleil dans le dos). Cette diffusion complète celles des molécules à qui l'on doit le bleu du ciel.

On définit la réflectance  $\rho$  comme le rapport de l'énergie réfléchi sur l'énergie incidente.

On l'exprime en pourcent. Depuis l'espace, la réflectance de la diffusion moléculaire  $\rho_m$  décroît très vite du bleu ( $\rho_m \cong 10\%$ ) vers le proche infra-rouge ( $\rho_m \cong 0,7\%$ ). La diffusion des aérosols complète le terme atmosphérique. Pour une visibilité standard de 23 km, on a une réflectance aérosol  $\rho_a$  de 2%.

Cette condition de surface noire est obtenue dans le rouge et dans le proche infra-rouge au dessus des surfaces d'eau. On dispose en général de 2 bandes spectrales (dans le rouge à 670 nm et dans le proche infra-rouge à 865 nm) où l'on peut mesurer la composante aérosol  $\rho_a$ . Sur les terres émergées, comme on peut le constater sur la figure 2, les surfaces





## INTERREG III-EXPER/PF

sont brillantes dans la plupart des cas. Elles masquent la composante « aérosol », à l'exception notable de la végétation dense. La chlorophylle absorbe très fortement la lumière dans le bleu (443 nm) et dans le rouge (670 nm) dans le mécanisme de photosynthèse. On a donc des cibles noires sur lesquelles on accède de nouveau à  $\rho_a$ .

La végétation sombre se détecte facilement à partir du fort gradient de réflectance entre le rouge et le proche infra-rouge.

En résumé, on peut obtenir la réflectance aérosols dans 2 canaux où la surface est sombre :

- (i) partout sur l'eau en rouge et proche infra-rouge,
- (ii) localement sur les terres au dessus de la végétation dense (forêt ou cultures denses et vertes, 2 % dans le bleu et 1 % en proche infra-rouge).

Si le sol (terre ou mer) est noir, on mesure cette composante atmosphérique. Le terme diffusion moléculaire est bien connu (il ne dépend que de la pression atmosphérique). On peut donc en le soustrayant obtenir la seule composante aérosols.

### 2-1.2 Des propriétés optiques des aérosols à leurs propriétés physiques

On a donc 2 paramètres optiques (les réflectances aérosols) à associer à deux paramètres physiques : la concentration en masse des particules de diamètres inférieurs à 10  $\mu\text{m}$  (PM10) ou à 2,5  $\mu\text{m}$  (PM2.5). L'association est possible au prix de multiples hypothèses portant sur la nature des aérosols :

- (i) ils sont sphériques (cela simplifie considérablement la théorie optique),
- (ii) ils sont identiques sur toute la colonne atmosphérique. Cette hypothèse s'impose car c'est la colonne atmosphérique qui est « vue » depuis l'espace. Elle est raisonnable compte tenu que la majorité des aérosols se trouvent près du niveau du sol,
- (iii) On fait une hypothèse de distribution verticale. C'est un paramètre critique car il permet de passer des mesures optiques intégrées sur la colonne verticale à la mesure au niveau du sol des PM10 et PM2.5,
- (iv) On se donne la nature des aérosols pour connaître leur indice de réfraction (propriété optique) et leur densité (passage du nombre de particules à la masse volumique),
- (v) On se donne une loi de distribution en taille afin de décrire l'abondance de particules  $n(r)$  en fonction de leur rayon  $r$ . Cette loi est ici une loi de puissance définie entre 2 rayons limités  $r_1$  et  $r_2$ ,

$$n(r) = N_o r^{-u}$$

Tout cela étant défini, il est possible de connaître les PM10 et PM2.5 depuis les réflectances aérosols.





## INTERREG III-EXPER/PF

### 2-1.3 Les données satellitaires

On utilise des satellites héliosynchrones (ils passent au dessus de nous à la même heure solaire). Le tableau 1 donne les satellites disponibles. Le capteur américain SeaWiFS passe quotidiennement depuis 1998. Il a été utilisé dans le projet INTERREG 2. Son heure de passage est midi. Sa résolution au sol est de 1 km. On pense l'utiliser lors du projet MERIS car SeaWiFS est en fin de vie.

Il existe différents niveaux de produits satellitaires. Le niveau 1 donne des grandeurs plus géophysiques, en particuliers celles qui ont trait à l'objectif de mission spatiale (couverture nuageuse et type de nuages par exemple pour un satellite météorologique). S'il existe des produits « aérosols », ceux-ci décrivent plus leurs propriétés optiques que leurs propriétés physiques telles PM10 et PM2.5. La thématique « qualité » de l'air et « aérosols » n'est actuellement pas l'objet d'une production opérationnelle. Cette opérationnalité sera l'objectif de notre contribution à ce programme INTERREG.

### 2-2. Constitution d'une base de données euro régionale sur les poussières

#### a) Introduction

Une base de données (BDD) va être alimentée par les partenaires. Elle sera consultable via Internet dans sa totalité par les partenaires, partiellement par les institutions et le grand public aura accès à un site de démonstration. Les données principales seront celles acquises par les stations de mesures fixes déjà utilisées par les différents réseaux qualité de l'air. Viendront s'ajouter les données de campagnes de mesures ponctuelles. Il y aura également toutes les données relatives aux multiples analyses physico-chimiques effectuées sur les filtres de prélèvement et enfin des cartes de particules obtenues à partir de l'imagerie satellitaire. On y associera également toute la documentation existante pertinente par rapport aux objectifs du projets comme par exemple les inventaires partiels d'émissions. Cette BDD sera accompagnée des outils conviviaux d'interrogation et de visualisation à distance.

Au cours de l'année de l'année 2002, HYGEOS, coordinateur de l'action 1, a défini l'architecture du serveur de la base de données ainsi que la structure même de la base. Les partenaires de cette action 1 ont fourni des exemples de données. La solution choisie est présentée dans ce document et sa robustesse aux objectifs du projet EXPER/PF a été testée.

#### 2-2.1 Définition du serveur de la base de données

La base de données sera gérée par un serveur qui assurera les tâches suivantes :

- tenir à jour la base de données en intégrant régulièrement dans cette base les dernières mesures des réseaux, les images satellites.
- traiter des données multi sources (réseau qualité de l'air, image satellite).
- délivrer les produits répondant aux requêtes des utilisateurs.

Les principales composantes du serveur sont :

- Un serveur Web.
- Une base de données.





## INTERREG III-EXPER/PF

- Des outils de traitement des données.

Ce processeur sera implanté sur une plateforme linux. Les raisons de ce choix sont les suivantes :

- C'est un système d'exploitation logiciel libre.
- Il est très stable et rapide.
- C'est devenu un standard comme serveur.
- Il offre d'excellentes capacités réseau.
- De nombreux logiciels libres existent et sont utiles au projet.

Le serveur Web implanté est le serveur Apache qui est devenu un standard.

La base de données contiendra plusieurs types d'information :

- Une documentation existante pertinente par rapport aux objectifs du projet.
- Les données mesures fournies par les partenaires du projet.

Le choix du type de base de données s'est porté sur la base de données MySQL qui présente les qualités nécessaires en terme de performance, de maintenance et de stabilité pour notre projet. Les tâches d'interfaçage entre les différentes parties du serveur, les tâches de soumission des requêtes à la base de donnée et la génération dynamique des pages Web seront écrites en langage de programmation PHP (PHP4). Les applications PHP sont rapides à mettre en place et faciles à créer. Ce logiciel libre est réputé pour ses facilités d'interfaçage avec de nombreuses bases de données dont MySQL. La figure 1 décrit la structure du serveur Web EXPER/PF

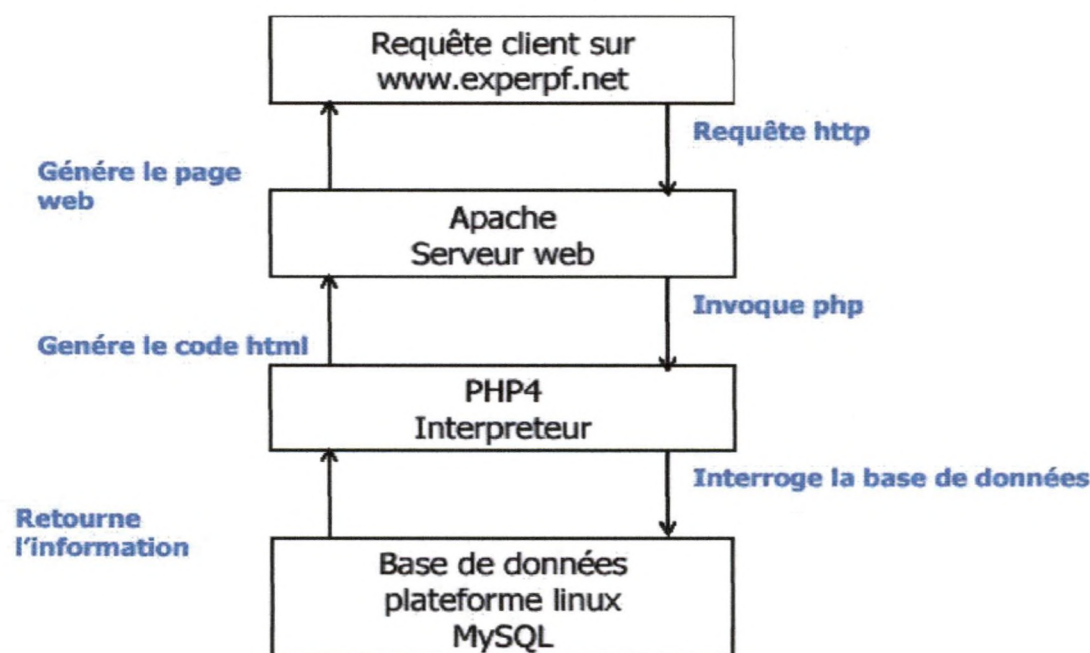


Figure 1 : structure du serveur Web EXPER/PF

## INTERREG III-EXPER/PF

### 2-2.2 Interface de communication du serveur avec l'extérieur

Le serveur de la base de données communique (figure 2) :

- Avec l'extérieur par les protocoles ftp, http, email.
- Avec son administrateur par des commandes en lignes ou en http.

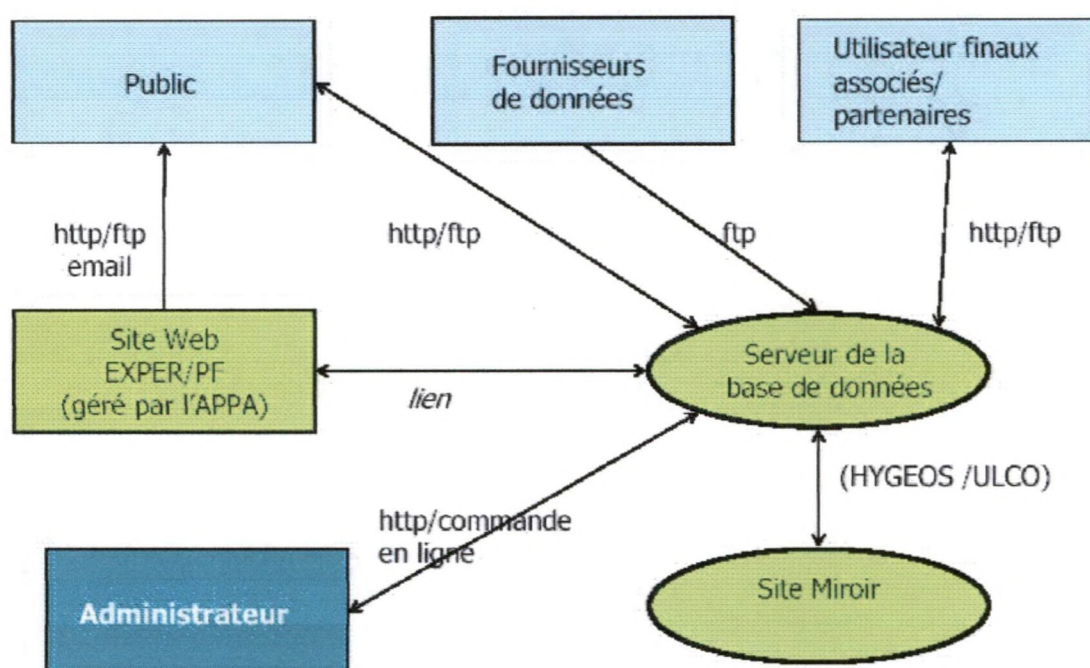


Figure 2 : description des protocoles de communication

Le protocole ftp sera utilisé pour :

- tenir à jour la base de données en intégrant dans cette base régulièrement les dernières mesures des réseaux, les produits des images satellitaires.
- délivrer aux utilisateurs de la documentation ou des résultats de requête sous forme de fichiers.

Le protocole http sera utilisé pour :

- communiquer avec les utilisateurs via l'adresse Web du site EXPER/PF.
- interroger la base de données.
- délivrer les résultats des interrogations de la base de données à l'écran de l'utilisateur.

Les commandes en ligne sur le serveur de la base de données permettront à l'administrateur d'assurer les tâches de maintenance et de contrôle.





## INTERREG III-EXPER/PF

Du serveur de la base de données, il sera possible via un lien actif de se connecter sur le site Web officiel du projet EXPER/PF. De plus si des problèmes réseau surviennent, il sera possible d'accéder à la base de données sur un site Web miroir localisé à l'Université du Littoral.

### 2-2.3 Accessibilité au serveur de la base de données

Nous avons défini 3 niveaux d'accès à la base de données (figure 3) :

- Un accès complet à la base de données est autorisé aux partenaires du projet EXPER/PF.
- Les institutions pourront interroger la base de données et visualiser les résultats de leur requête.
- Le grand public aura accès à une page de démonstration du serveur Web EXPER/PF avec une possibilité d'interrogation limitée de la base.

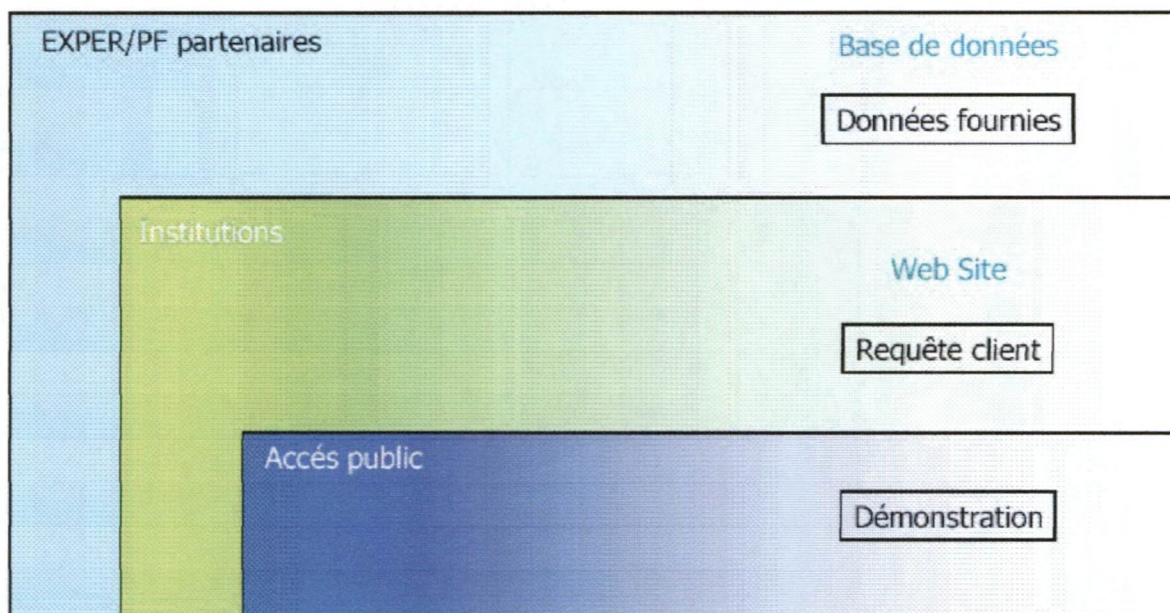


Figure 3 : les niveaux d'accessibilité à la base de données

### 2-2.4 Contenu de la base de données

a) Données brutes fournies régulièrement par les réseaux de mesures qualités de l'air

(i) Type de données

La base de données EXPER/PF contiendra principalement les mesures qualité de l'air suivantes :

- Mesures de PM10, PM2.5.





## INTERREG III-EXPER/PF

- Mesures des composés SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> et benzène complémentaires des mesures de PM<sub>2.5</sub>.

- Données météorologiques.

### Contribution du VMM (figure 4)

Le VMM fournira des mesures fixes de PM<sub>2.5</sub> à partir de 4 sites sous l'influence de l'agglomération de Lille, des mesures des composés SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> et benzène complémentaires des mesures de PM<sub>2.5</sub> et des mesures continues de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>, en utilisant les capteurs TEOM à la station fixe de St. Denijs-Westrem.

### Contribution de AREMA LM (figure 5)

Sur le territoire, 8 sites mesurent les poussières PM<sub>10</sub>: Lille Faidherbe, Lille Fives, Villeneuve d'Ascq, Lomme, Tourcoing, Roubaix, Marcq et La Bassée. La mesure des poussières PM<sub>2.5</sub> est opérationnelle depuis octobre 2000 de manière simultanée sur 2 des 7 sites (Lille Faidherbe et Lomme) afin d'essayer d'établir une corrélation entre PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>.

AREMA LM réalisera un inventaire des émissions de poussières, inventaire inexistant à ce jour. Cet inventaire, en partie réalisé en commun avec les 4 Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air de la région Nord-Pas de Calais, se devra d'être complété par celui des métaux, les métaux étant transportés sur de longues distances, comme a pu le montrer une publication rédigée par l'AREMA Lille Métropole/Institut Pasteur de Lille. Aussi, la réalisation d'analyses de métaux lourds (réglementés d'ici fin 2003) dans les poussières PM<sub>10</sub> est intégrée au projet EXPER/PF.

## **(ii) Disponibilité des mesures et intégration dans la base de données**

- Réseau français

Les mesures qualité de l'air ont lieu toutes les 15 minutes. Les stations de mesures transmettent 2 fois par jour au réseau local leurs données qui sont validées dans la journée. Les données validées sont ensuite envoyées une fois par semaine au réseau national. Le serveur du réseau local est inaccessible de l'extérieur et donc le transfert des données vers la base de données EXPER/PF est effectué manuellement par un opérateur. Ce transfert aura lieu une fois par jour.



## INTERREG III-EXPER/PF

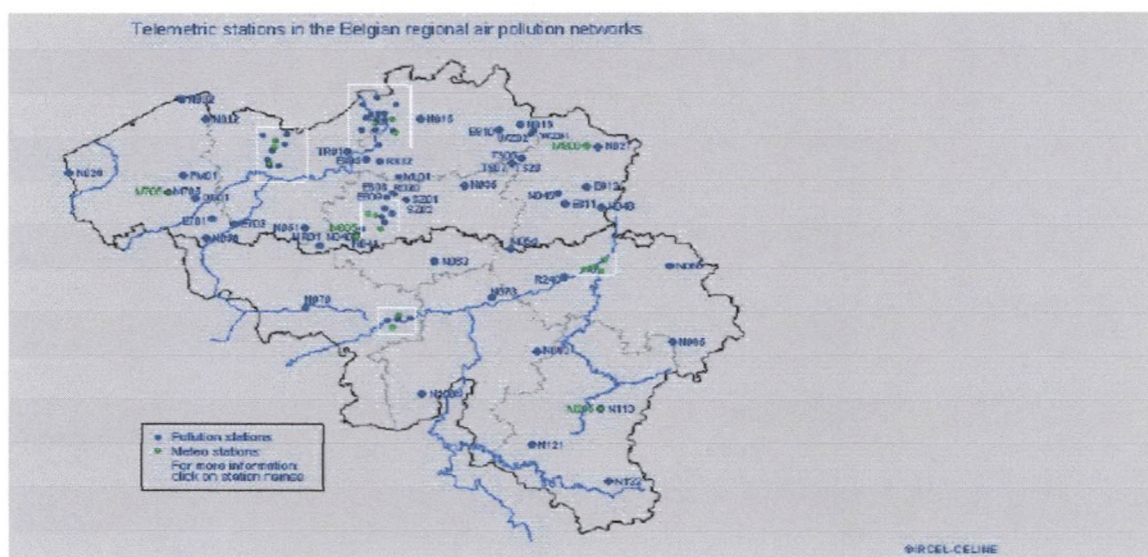


Figure 4 : Répartition géographique des stations des réseaux de mesures de la Qualité de l'air belges. Mesure des poussières à N029 : Houtem, M705 : Roselaere, OB01 : Oostrozebeke, NO50 : Sint-Denijs Westrem. Carte issue de la Cellule Interrégionale de l'Environnement.

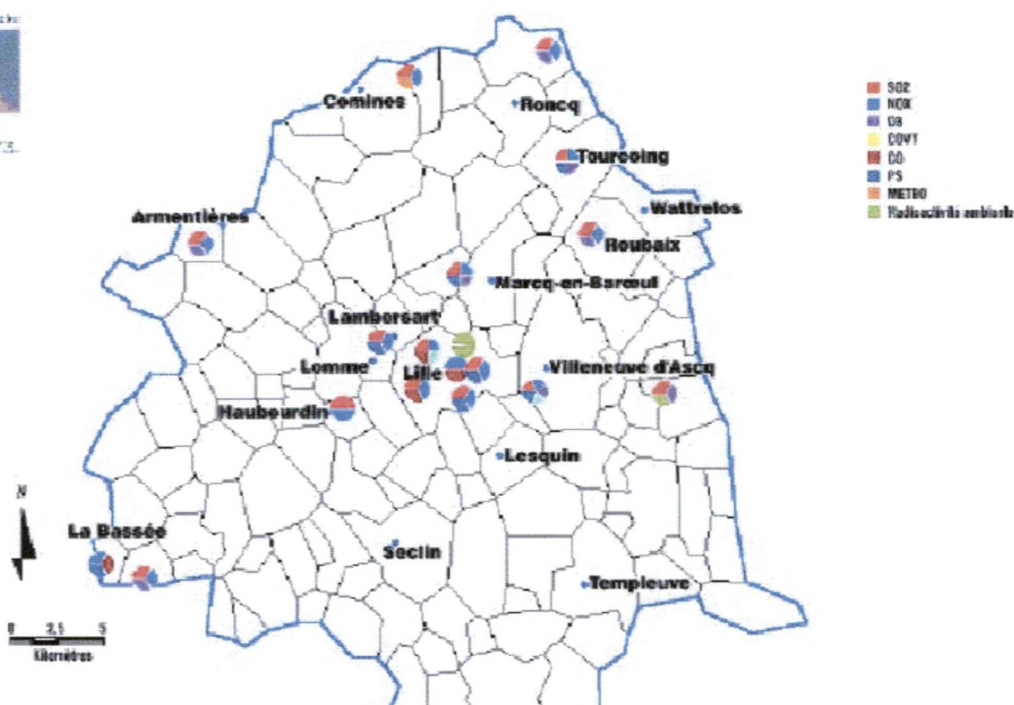


(a)

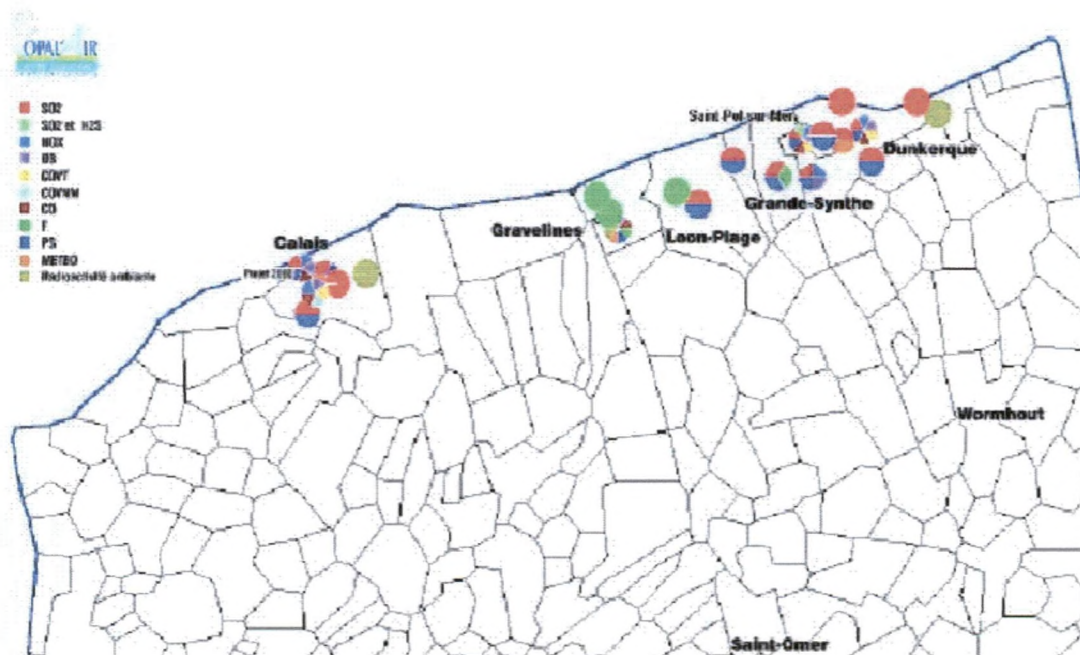




## INTERREG III-EXPER/PF



(b)



(c)

Figure 5 : Répartition géographique des stations des réseaux de mesures de la Qualité de l'air français : (a) Vue générale des réseaux du Nord de la France, (b) Vue détaillée du réseau AREMA Lille Métropole, (c) Vue détaillée du réseau Opal'Air. Cartes issues du Plan Régional pour la Qualité de l'Air 2000 (PRQA)

## INTERREG III-EXPER/PF

- Réseau Belge :

Les mesures qualité de l'air ont lieu tous les 15 minutes et sont transmises toutes les heures au réseau local. Les mesures ne sont pas validées en temps réel et sont transmises tous les six mois au réseau national. Le serveur de la base de données recueillera automatiquement chaque jour les mesures qualité de l'air non validées.

Tous les six mois, il collectera auprès du réseau national les mesures validées.

### **b) Données de campagnes de mesures ponctuelles fournies par les réseaux de mesures de la qualité de l'air (VMM, AREMA, OPAL AIR)**

Les données des campagnes de mesures ponctuelles sont intégrées dans la base de données.

Les composantes mesurées sont :

- Les métaux traces, mesures validées une semaine après.
- Les métaux/ions traces, mesures validées un mois après.
- Les PM 2.5 et PM 10, mesures validées une semaine après

D'un réseau de mesure à un autre, les techniques de mesures ou l'étalonnage des instruments peuvent être différents. Des mesures comparatives de poussières avec les autres partenaires pour l'homogénéisation des données sont programmées.

## **2-2.5 Données Satellitaires**

Les cartes PM2.5 et PM10 de la zone d'intérêt du projet EXPER/PF obtenu à partir des images satellitaires acquises par SeaWiFS et MERIS seront intégrées dans la base de données. Afin de pouvoir inspecter visuellement la qualité des images satellitaires en terme de couverture nuageuse, une image en fausse couleur de la zone sera également disponible.

### **2-2.5.1 Requêtes et traitement des données de la base**

#### **a) Référencement des mesures dans la base de données**

Les mesures réseaux qualité de l'air seront référencés et décrites dans des tables.  
(Tableau 1)

Nom de la station de mesures sol ou de la campagne
Latitude de la position de la station
Longitude de la position de la station
Date de la mesure (jour/mois/année)
Heure d'acquisition (heure/minutes/seconde)
Données validées (oui/non)
Mesure Produit 1
....
Mesure Produit n





## INTERREG III-EXPER/PF

Tableau 1 : description des champs de la table type qui caractérisera et contiendra les résultats des mesures des réseaux qualité de l'air effectués par les différentes stations sol. Toutes les données fournies par les réseaux seront contenues dans la base de données. Cette approche n'est pas envisageable pour les images satellitaires qui représentent des fichiers trop volumineux. Seules les caractéristiques de l'image seront décrites.

Type de capteur
Latitude du coin situé en haut à gauche de l'image
Longitude du coin situé en haut à gauche de l'image
Latitude du coin situé en haut à droite de l'image
Longitude du coin situé en haut à droite de l'image
Latitude du coin situé en bas à gauche de l'image
Longitude du coin situé en bas à gauche de l'image
Latitude du coin situé en bas à droite de l'image
Longitude du coin situé en bas à droite de l'image
Date d'acquisition
Heure d'acquisition
Chemin d'accès à l'image

Tableau 2 : description des champs de la table type qui caractérisera une images satellite présente

### b) Les requêtes

Une fois la base de données constituée, nous pourrions l'interroger. Nous avons défini un ensemble de requêtes qui guidera l'utilisateur dans sa démarche d'interrogation de la base. 5 champs sont à définir : l'origine des données (données satellitaires ou/et mesures des réseaux), la zone géographique concernée, les produits mesurés à visualiser, la période temporelle d'étude et le mode de visualisation des résultats. Pour une meilleure compréhension du processus de formulation d'une requête, nous en présentons 3 exemples. Ces exemples montrent l'affichage d'une page Web et les étapes successives conduisant à la visualisation d'un résultat.

#### (i) Interrogation des mesures des réseaux qualité de l'air

La première étape dans la formulation de la requête consiste à choisir les stations de mesures (figure 1).

L'utilisateur pourra sélectionner une seule ou plusieurs stations. Dans notre exemple il sélectionne 2 stations.

Ensuite, dans la seconde étape, l'utilisateur devra spécifier pour chaque station sélectionnée quelles grandeurs mesurées l'intéresse (figure 2). Dans notre exemple il en sélectionne trois. Lors de la troisième étape, la période temporelle sur laquelle se porte l'étude est précisée. 4 visualisations possibles des résultats sont offertes à l'utilisateur, à l'étape suivante. L'utilisateur peut analyser la variation temporelle d'un produit ou bien observer cette même variation mais moyennée sur chaque journée. Il peut également tracer la variation d'un produit en fonction d'un autre. Enfin, il peut obtenir en format texte les données statistiques. Selon son choix à l'étape 4, l'utilisateur doit sélectionner un seul produit ou il peut sélectionner plusieurs produits. A l'étape 6, l'utilisateur visualise le résultat de sa requête.



## INTERREG III-EXPER/PF

Études données réseaux

Choix station 1	<input type="text" value="Nom station 1"/>	Menu déroulant
Choix station 2	<input type="text" value="Nom station 2"/>	Menu déroulant
Choix station 3	<input type="text" value="Nom 3"/>	Menu déroulant
Choix station 4	<input type="text" value="Nom 4"/>	Menu déroulant
Choix station 4	<input type="text" value="Nom 5"/>	Menu déroulant
Choix station 5	<input type="text" value="Nom 6"/>	Menu déroulant

**Choix de 2 stations**

Valider

Etape 1

Figure 1 : Etudes des mesures réseaux. Première étape dans la formulation de la requête. Choix des stations de mesures

Études données réseaux

Choix station 1	<input type="text" value="Nom 1"/>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px;"> Produit 1  Produit 2  .....  Produit n </div>	Selection multiple possible
Choix station 2	<input type="text" value="Nom 2"/>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px;"> Produit 1  Produit 2  .....  Produit n </div>	Selection multiple possible

**Sélection de 3 produits**

Valider

Etape 2

Figure 2 : Etudes des mesures réseaux. Seconde étape dans la formulation de la requête. Sélection des produits pour chaque station précédemment sélectionnée





## INTERREG III-EXPER/PF

Etudes données réseaux

Sélection période temporelle

Jour  Mois  Année   
du Jour  Mois  Année   
au

Sélection d'une période ou d'une journée

Etape 3

Figure 3 : Eudes des mesures réseaux. Troisième étape dans la formulation de la requête. Spécification de la période temporelle sur laquelle se porte l'étude

Etudes données réseaux

Sélection type de visualisation

☐ Variation temporelle d'un produit  
☐ Variation temporelle (moyenne sur chaque journée) d'un produit  
☐ Courbe de corrélation entre deux produits  
☐ Données statistiques (format texte)

Etape 4

Figure 4 : Eudes des mesures réseaux. Quatrième étape dans la formulation de la requête. Sélection du type de visualisation

Etudes données réseaux

Variation temporelle d'un produit

☐ Station 1 produit 1  
☐ Station 1 produit 2  
☐ Station 2 produit 1

Sélection d'un des produits

Etape 5

(a)



HYGEOS



## INTERREG III-EXPER/PF

Etudes données réseaux

Variation temporelle (moyenne sur chaque journée) d'un produit

☐ Station 1 produit 1

☐ Station 1 produit 2

☐ Station 2 produit 1

Sélection d'un des produits

Valider

Etape 5

(b)

Etudes données réseaux

Courbe de corrélation entre deux produits

☐ Station 1 produit 1

☐ Station 1 produit 2

☐ Station 2 produit 1

Sélection de deux produits

Valider

Etape 5

(c)

Etudes données réseaux

Données statistiques (format texte)

☐ Station 1 produit 1

☐ Station 1 produit 2

☐ Station 2 produit 1

Sélection d'un ou plusieurs produits

Valider

Etape 5

(d)

Figure 5 : Etudes des mesures réseaux. Cinquième étape dans la formulation de la requête. Selon le choix fait à l'étape 5, l'utilisateur doit sélectionner un seul produit ou il peut sélectionner plusieurs produits.





## INTERREG III-EXPER/PF

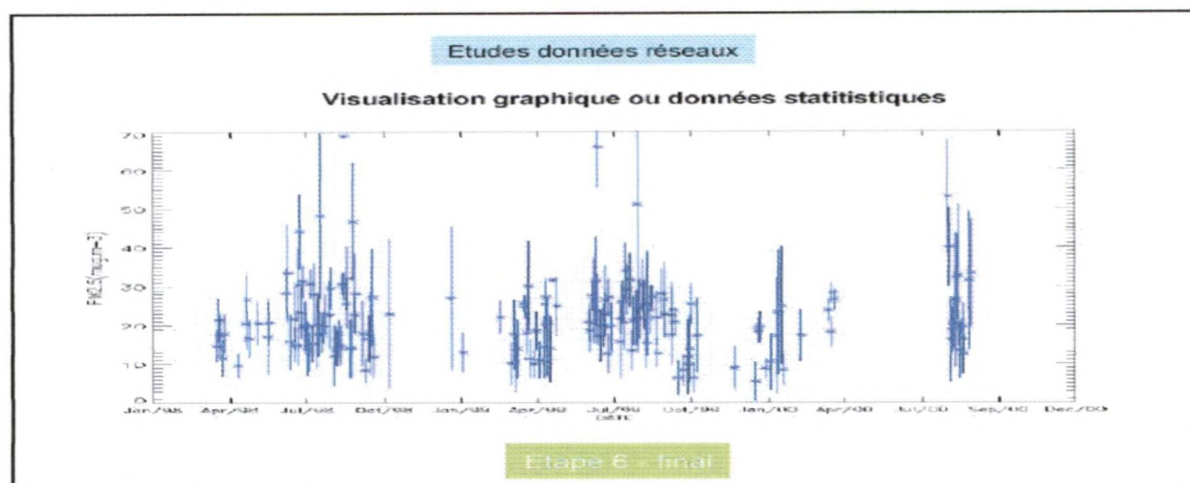


Figure 6 : Etudes des mesures réseaux. Sixième et dernière étape : visualisation du résultat

### (ii) Interrogation des données satellitaires

La première étape dans la formulation de la requête consiste à choisir le produit à visualiser : image en fausse couleur, produit PM2.5 ou PM10 (figure 1). L'utilisateur précise ensuite la période temporelle (étape 2, figure) puis la zone géographique (étape 3, figure). L'utilisateur peut demander à visualiser les images sur l'ensemble de la zone du projet ou définir une zone particulière : un carré ou un point. Si il sélectionne l'option « images sur la zone d'intérêt » sa requête est formulée et le résultat apparaît (figure ). Pour les 2 autres options, il devra définir les coordonnées géographiques (figure x et y), pour que le résultat apparaisse (figure x et y).

### (iii) Interrogation combinées des données satellitaires et des données des réseaux qualité de l'air

Ce mode d'interrogation est identique aux modes d'interrogation des données réseaux qualité de l'air (figure de x à y) mais lors de la seconde étape, l'utilisateur peut sélectionner des produits de l'observation spatiale.

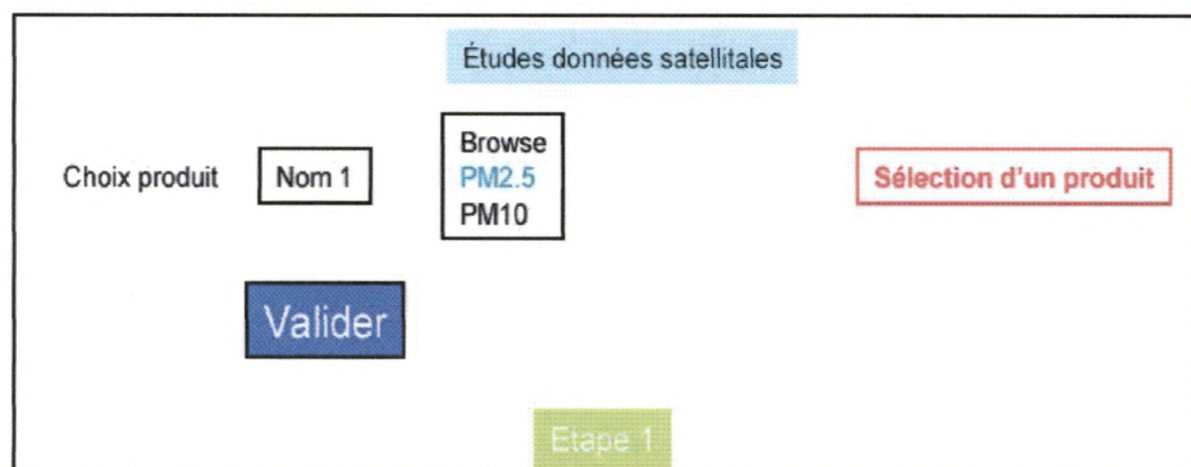


Figure 1 : Etudes des données satellitaires. première étape dans la formulation de la requête. Sélection du produit à visualiser

## INTERREG III-EXPER/PF

Études données satellitaires

Sélection période temporelle

du Jour  Mois  Année

au Jour  Mois  Année

Sélection d'une période ou d'une journée

Valider

Etape 2

Figure : études des données satellitaires : seconde étape dans la formulation de la requête. Spécification de la période temporelle sur laquelle se porte l'étude

Études données satellitaires

Sélection zone géographique

☐ Images sur la zone d'intérêt EXPER/PF

☐ Zone particulière (carré défini par 2 coins opposés en latitude longitude)

☐ Un point latitude longitude

Sélection d'une option

Valider

Etape 3

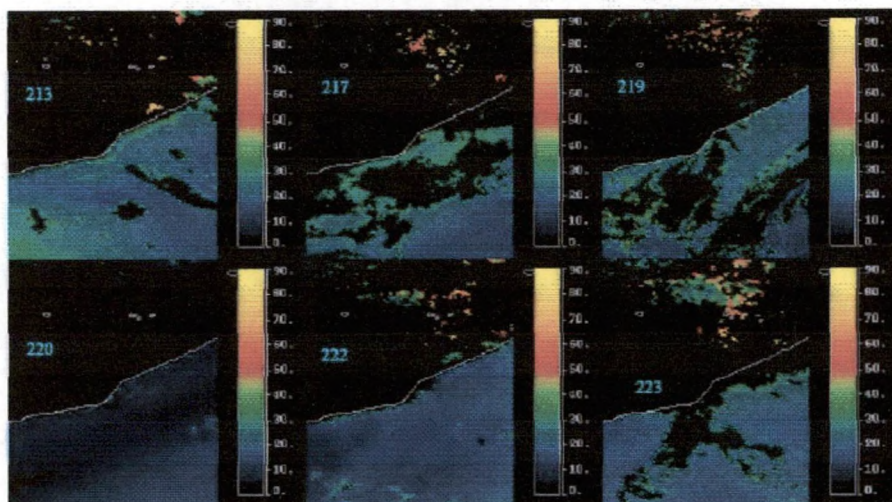
Figure : études des données satellitaires. troisième étape dans la formulation de la requête. Sélection de la zone géographique



## INTERREG III-EXPER/PF

### Études données satellitaires

#### Images sur la zone d'intérêt EXPER/PF



### Etape 4 - final

Figure : études des données satellitaires, quatrième étape finale si à l'étape 3 l'option « images sur la zone d'intérêt EXPER/PF » a été sélectionnée. Visualisation du résultat

### Études données satellitaires

#### Zone particulière (carré défini par 2 coins opposés en latitude longitude)

Latitude et longitude du coin en haut à gauche



Latitude et longitude du coin en bas à droite



Valider

### Etape 4

Figure : Etudes des données satellitaires. Quatrième étape dans la formulation de la requête suite à la sélection de l'option « Zone particulière (carré défini par 2 coins opposés en latitude longitude) » lors de l'étape 3.



HYGEOS



## INTERREG III-EXPER/PF

Études données satellitaires

Un point latitude longitude

Latitude et longitude du point

Nombre de pixels autour du point à considérer pour l'analyse statistique

Valider

Etape 4

Figure : Etudes des données satellitaires. Quatrième étape dans la formulation de la requête suite à la sélection de l'option « Un point latitude longitude » lors de l'étape 3.

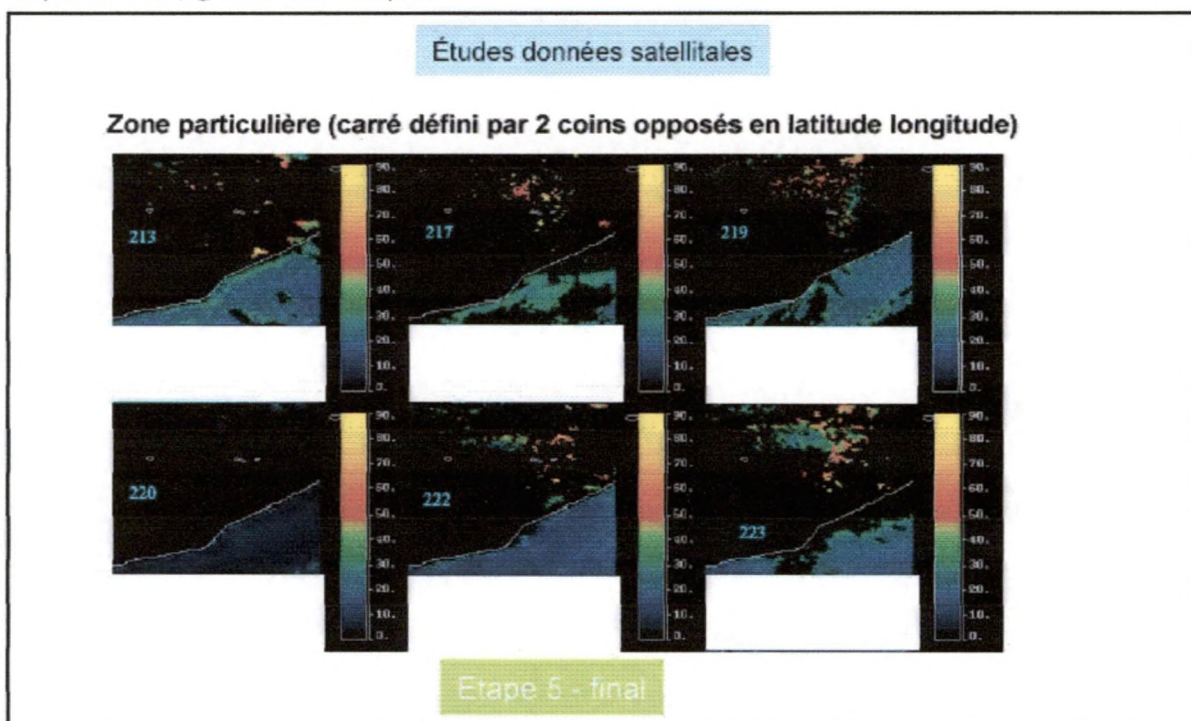


Figure : Etudes des données satellitaires. cinquième étape suite à la sélection de l'option « Zone particulière (carré défini par 2 coins opposés en latitude longitude) » lors de l'étape 3. Visualisation du résultat.





HYGEOS



## INTERREG III-EXPER/PF

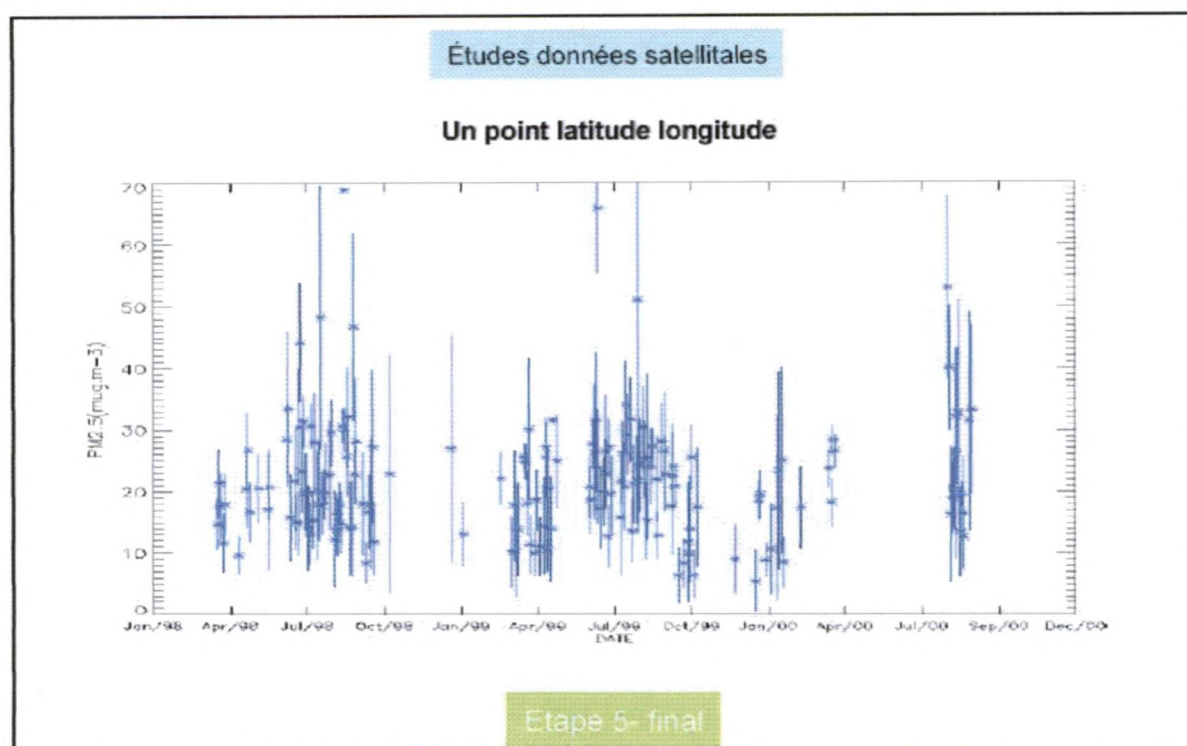


Figure : Etudes des données satellitaires. cinquième étape suite à la sélection de l'option « un point latitude longitude » lors de l'étape 3. visualisation du résultat.

Études combinées données réseaux et données satellitaires

Choix station 1 

Produit 1  
Produit 2  
.....  
Produit n

*Selection multiple possible*

Choix station 2 

Produit 1  
Produit 2  
.....  
Produit n

*Selection multiple possible*

Choix produit satellitaire 

Browse  
PM2.5  
PM10

*Nombre de pixels  
À moyenner*

Etape 2

Figure x : Etudes combinées données réseaux et données satellitaires : seconde étape.



HYGEOS



## INTERREG III-EXPER/PF

### 2-2.6 Bibliographies des auteurs de la télédétection spatiales et des aérosols (Cf. Support Annexes 6).





## INTERREG III-EXPER/PF

### 3 Action 2 : Etude de cas autour de la Métropole Lilloise

#### 3.1 Objectifs

##### a) PM, formation et transport (VMM, AREMA LM)

La région de Kortrijk (Courtrai) est probablement sous l'influence de l'agglomération et des installations industrielles de Lille-Tourcoing-Roubaix. A côté des particules les polluants gazeux comme  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ , benzène sont importants car ils agissent comme précurseurs dans la formation des particules (principalement les sulfates d'ammonium).

A Menen (Menin) on mesure souvent des niveaux élevés de dioxine et il n'est pas clair si cela est causé par des sources locales ou par un transport transfrontalier. Des mesures systématiques des polluants dans l'air sont, jusqu'à présent, limitées aux mesures continues de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  et l'ozone à St. Denijs-Westrem et des mesures de déposition de dioxine à Menen.

Afin d'avoir une meilleure vision de la pollution de l'air dans la région de Kortrijk, des campagnes de mesures mobiles seront organisées. Elles seront faites sur une longue période de temps et accompagnées de mesures de polluants gazeux.

On procédera également à des mesures complémentaires dans la zone adjacente de Tielt où on observe des niveaux élevés de  $\text{PM}_{10}$ .

Pour les campagnes aux alentours de Lille, on dispose de l'instrumentation suivante :

Laboratoire mobile du VMM :  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{PM}_{10}$ , Lidar , mesures simultanées de  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  et métaux lourds.

##### b) PM, Caractérisation physico-chimique (Université d'Anvers)

Echantillonnages dans la ville de Lille et aux sites qui influencent cette région puis analyse en laboratoire pour:

- L'étude de la spéciation de quelques éléments (Fe, Mn, Cu, Ni, Cr), afin de comprendre leur évolution chimique au cours de leur déplacement dans la troposphère
- L'analyse des composés traces organiques et inertes ainsi que la micro analyse de particules individuelles pour effectuer le lien avec l'épidémiologie (détermination des nitrates nitrites sulphates et ammoniums, métaux de transitions, HAP etc.

#### 3-2 Les méthodes expérimentales.

##### a) PM

TEOM (Rupprecht & Patashnick) –  $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2.5}$

Ce moniteur est équipé d'une microbalance oscillante.





## INTERREG III-EXPER/PF

Le principe de mesure est le suivant : un filtre en fibre de verre incrusté sur un support téflonné est posé sur un élément vibrant «tapered element» à une fréquence bien déterminée. Avec l'accroissement de la masse des particules de poussières sur le filtre, la fréquence de vibration de l'élément oscillant diminue proportionnellement à la masse de poussières. La sélection en taille des poussières se fait au niveau de la tête selon le débit d'aspiration. Des mesures comparatives avec la méthode de référence gravimétrique en Flandre ont abouti à un facteur de correction de 1,45 pour les TEOM et 1,37 pour les moniteurs en bête absorption (FAG). L'utilisation d'un facteur de référence reste à discuter entre les partenaires.

### b) Composants mineurs

#### *Quels composants, quelle technique utiliser ?*

Métaux lourds – VMM et UIA

#### **Echantillonnage**

Les mesures sont faites avec un appareil d'échantillonnage de l'air, le Leckel SEQ47/50. C'est un appareil automatique pour collecter la poussière en suspension dans des filtres standards 47mm - 3 µm. A l'entrée de l'appareil on peut monter une tête PM10, PM2,5 ou TSP.

L'appareil automatique peut échantillonner pendant 14 jours (14 filtres, un par jour).

L'appareil est muni des senseurs de température et pression atmosphérique. Ces données ainsi que le volume échantillonné sont stockées dans un memorstick. L'échantillonneur calcule aussi les volumes en conditions atmosphérique et en conditions standard (0°C et 1013 mbar).

L'échantillonnage est effectué à une hauteur de 1,58 m. Chaque 24 heures un volume de 55,2 m³ est échantillonné. La commutation se fait à minuit (24 h UT).

#### Méthode d'analyse

Les filtres sont collectés et transportés au laboratoire où ils sont analysés moyennant un spectromètre de fluorescence à rayons X de longueur d'onde dispersive, afin de détecter la présence des métaux et métalloïdes suivants: Pb, Zn, Cu, Ni, As, Cr, Mn et Cd.

Cette technique permet d'exécuter les analyses directement sur les filtres échantillonnés sans aucune préparation secondaire.

#### Métaux lourds – AREMALM

Les prélèvements sont réalisés en utilisant un préleveur de type Partisol Plus qui présente un débit d'aspiration de 1 m³/h. Les poussières sont collectées sur un filtre en fibre de quartz de 47 mm de diamètre. L'échantillonnage a lieu sur le toit de la station mobile, soit à environ 4m du sol. Chaque prélèvement dure 7 jours, le changement ayant lieu à 0h.

Les analyses sont réalisés par la méthode de l'ICP-MS pour les métaux Pb, Ni, As, Cd, Zn, Cu.





## INTERREG III-EXPER/PF

### HAPs – VMM

#### **Echantillonnage**

L'échantillonnage se fait au moyen d'une pompe à débit bas sur un filtre de fibre de verre. Le TSP est échantillonné. L'appareil est équipé de 8 postes de filtres. Chaque 24 heures un autre filtre est échantillonné.

#### Méthode d'analyse

Les filtres sont groupés par 7 pour mesurer des moyens hebdomadaires et sont extraits en acétone par ASE. L'analyse est faite par HPLC et détection fluorescence programmée. Les 10 derniers des 16 EPA-HAP sont déterminés.

### HAP's- AREMALM

Les remorques mobiles n'étant pas équipées de préleveurs pour les HAP, il n'y a pas de mesures de ces composés sur les sites d'implantation.

### HAPs – UIA

Les HAPs seront analysés au moyen d'une combinaison de chromatographie gazeuse et spectrométrie de masse (GC-MS)), en utilisant une méthode de pression basse. L'utilisation de cette méthode en résulte que les HAPs seront rapidement analysés. Quant à l'extraction des HAPs du filtre, une technique d'extraction accélérée sera employée.

### VOC – VMM

Le principe de mesure est la méthode par chromatographie gazeuse automatique avec détection photo ionisation. L'appareil est un analyseur BTX (Syntec) dont l'application est élargie à 8 composées, c'est à dire le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, les xylènes, les C3-benzènes (total), les C4-benzènes (total) en le naphtalène. Le cycle d'analyse est sur base d'une demi-heure.

### Dioxines – VMM

#### **Echantillonnage**

Les échantillons sont collectés dans un collecteur de déposition Bergerhoff pendant une période de  $30 \pm 3$  jours. 3 collecteurs sont placés ensemble à une altitude de 1.5 m. Le contenu des 3 collecteurs est analysés comme un échantillon.

#### Méthode d'analyse

D'abord les échantillons sont extraits et puis analysés au moyen HRGC-HRMS.

### Cations-anions – UIA

Les analyses sont faites au moyen de chromatographie ionique. Avant l'analyse, les échantillons doivent être préparés. Pendant cette préparation les composants hydrosolubles sont extraits du filtre au moyen d'une méthode ultrasonique. En utilisant des colonnes à résine échangeuse d'ions, les différents anions et cations sont détectés en fonction de leurs temps de rétention respectifs.



## INTERREG III-EXPER/PF

### c) Composants gazeux

*Quels composants, quelle technique utiliser ?*

#### **Analyseur SO<sub>2</sub>**

Le principe de mesure est la méthode par UV fluorescence.

C'est un analyseur continu de dioxyde de soufre. Il utilise le principe de la détection par fluorescence dans l'ultraviolet.

Les molécules SO<sub>2</sub> absorbent du rayonnement dans le zone UV. Les molécules, acquérant une certaine quantité d'énergie, se trouvent portée à un état d'excitation électroniques et émettent un rayonnement d'une plus longue d'onde.

Il n'y a pas d'interférence d'autres éléments.

#### **Analyseur O<sub>3</sub>**

Le principe de mesure est la méthode par absorption de lumière UV par des molécules d'ozone. La détection est réalisée dans la chambre d'absorption dans une bande étroite.

Afin d'obtenir des résultats valables, la lampe doit être bien stable.

#### **Analyseur CO.**

Le moniteur utilise le principe de la détection par absorption dans l'infrarouge.

Grâce à des technologies optiques et électriques récentes, l'appareil offre de nombreux avantages.

#### **Analyseur NO<sub>x</sub>**

Le principe utilisé est la chimiluminescence. La réaction de chimiluminescence, qui a lieu dans chacune des chambres de réaction, se produit lorsque les molécules d'ozone et de NO sont en contact.

### 3-3. Les mesures en routines

*Celles faites habituellement dans la grande métropole lilloise*

#### **a) PM**

VMM : PM10 : Houtem, Roeselare, Oostrozebeke

AREMA LM: PM10: Lille (2), Lomme, Marcq, Tourcoing  
PM2.5: Lille, Lomme

Opal'Air: PM10: Calais (2), Duncerque (7), Boulogne (3)  
PM2.5: Calais (1), Duncerque (2), Boulogne (1)

#### **b) Composants mineurs**

##### AREMA LM

Mesure des métaux lourds Pb, Ni, As, Cd dans les PM10 sur le site de Marcq sur un rythme hebdomadaire. Les métaux ont également été analysés dans les TSP sur 2 sites Lillois au cours du premier semestre.





HYGEOS



## INTERREG III-EXPER/PF

Mesure de 12 HAP (8 en phase particulaire et 4 en phase gazeuse) dans les PM<sub>10</sub> avec un débit de prélèvement de 30 m<sup>3</sup>/h. Le prélèvement est de 1 journée tous les 6 jours sur les sites de Marcq et Lille.

### c) Composants gazeux

SO<sub>2</sub> : ..... Houtem, Roeselare, Oostrozebeke, Sint-Denijs

NO/NO<sub>2</sub> : ..... Houtem, Oostrozebeke, Sint-Denijs

O<sub>3</sub> : ..... Houtem, Roeselare, Sint-Denijs

#### AREMA LM

SO<sub>2</sub> : 12 mesures sur l'agglomération dont Tourcoing, Halluin, Wervicq, Roubaix sur la partie Nord.

NO/NO<sub>2</sub> : 17 mesures sur l'agglomération dont Tourcoing, Halluin, Roubaix sur la partie Nord

O<sub>3</sub> : 10 mesures sur l'agglomération dont Tourcoing, Halluin, Roubaix sur la partie Nord

### 3-4. Les mesures spécifiques au projet

*Celles faites spécifiquement pour EXPER/PF dans la grande métropole lille*

#### a) PM

- VMM deuxième semestre 2002

- Mesures à Rollegem, Tombroekstraat depuis mi-décembre
- station mobile (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>)

- AREMA-LM deuxième semestre 2002

- Mesures à Wervicq depuis mi-décembre
- station mobile (PM<sub>10</sub>)
- Mesures à Halluin depuis mi-décembre
- station mobile (PM<sub>10</sub>)

#### b) Composants mineurs

- VMM premier semestre 2002

- Dioxines et PCB<sub>126</sub>
- tous les 6 mois à Menin1, Menin3, Menin4, Menin5 et Wervik
- mensuel à Menin2

- AREMA-LM premier semestre 2002

- Métaux lourds dans la fraction 'PM<sub>10</sub>' à plusieurs sites autour de Lille métropole moyennant une station mobile - zone rurale sous les vents de gros émetteurs (Moncheaux, Genech) et zone périurbaine (Houplin Ancoisne).



## INTERREG III-EXPER/PF

- VMM deuxième semestre 2002

- Dioxines et PCB126

- tous les 6 mois à Menin1, Menin3, Menin4, Menin5 et Wervik

- mensuel à Menin2

- une mesure à Halluin

- Mesures à Rollegem, Tombroekstraat depuis mi-décembre

- HAP

- des mesures quotidiennes des métaux lourds dans la fraction 'PM10'

- des mesures quotidiennes des métaux lourds dans la fraction 'PM2.5'

- Mesures à Menin, Wervikstraat depuis mi-décembre

- des mesures quotidiennes des métaux lourds dans la fraction 'PM10'

- des mesures quotidiennes des métaux lourds dans la fraction 'PM2.5'

- AREMA-LM deuxième semestre 2002

- Métaux lourds dans la fraction 'PM10' à plusieurs sites autour de Lille métropole moyennant une station mobile (Tourcoing)

- Mesures à Wervicq depuis mi-décembre

- mesures hebdomadaires des métaux lourds dans la fraction 'PM2.5'

- Mesures à Halluin depuis mi-décembre

- mesures hebdomadaires des métaux lourds dans la fraction 'PM10'

- UIA deuxième semestre 2002

- Mesures à Menin:

- XRF optimisation/analyse des mesures quotidiennes de la fraction 'PM2.5'

- IC optimisation/analyse des mesures quotidiennes de la fraction 'PM2.5'

### c) Composants gazeux

- VMM deuxième semestre 2002

- Mesures à Rollegem, Tombroekstraat depuis mi-décembre

- station mobile (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>)

- station mobile (VOC)

- AREMA-LM deuxième semestre 2002

- Mesures à Wervicq depuis mi-décembre

- station mobile (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>)

- Mesures à Halluin depuis mi-décembre

- station mobile (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>)

- -UIA deuxième semestre 2002

- Mesures à Menin:





HYGEOS



## INTERREG III-EXPER/PF

-Validation des tubes de diffusion '*radiello*' (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, BTEX et NH<sub>3</sub>)



## INTERREG III-EXPER/PF

### 4. Action 3 : Communication

#### 4-1. Présentation générale de l'action 3

L'action 3 vise deux objectifs principaux :

1. Veille Scientifique et transfert des connaissances sur la thématique des particules atmosphériques et de leur impact sanitaire
2. Communication et valorisation du projet EXPER/PF

La mission de communication et de transfert de connaissances du projet est effectuée principalement par l'APPA Nord Pas de Calais, en collaboration avec le VMM et le VLIZ pour la Flandre.

#### 4-1.1 Veille scientifique et transfert des connaissances

##### a) Commission « Particules et santé » de l'APPA

Le Comité Nord Pas de Calais de l'APPA participe aux travaux de la Commission « Particules et santé », mise en place par le siège de l'Association, et présidée par le Professeur Jacques Fontan. Cette commission est ouverte à divers spécialistes du domaine des particules, allant des émissions aux impacts sanitaires en passant par les mesurages et les expositions. (Cf. liste des membres de la Commission support annexe 7).

##### b) Objectifs

Cette Commission cherche à stimuler une approche multidisciplinaire et multiprofessionnelle de la problématique particulaire et à faciliter, à sa mesure, des échanges interculturels, afin de déboucher sur des messages objectifs, compréhensible et utiles à la décision publique, notamment diffusés par la revue *Pollution Atmosphérique*.

##### c) Fonctionnement

La Commission se réunit périodiquement (3 à 4 fois par an), sur un thème donné. Un rapporteur est désigné parmi les membres, chargé de rédiger une première synthèse des travaux, soumis à l'ensemble de la Commission pour correction et rédaction d'un document final, qui paraît ensuite dans la revue *Pollution Atmosphérique*.

##### d) Transfert des connaissances et journées thématiques

Des journées thématiques sont régulièrement organisées par le Comité Régional de l'APPA en Région. Le Comité participe également à l'organisation de manifestation avec le siège de l'APPA (ex : Conférence ADEME/APPA chaque année au Salon Pollutec).

Le Comité Régional de l'APPA assiste également à des forums et colloques. Ces différentes manifestations permettent d'assurer une veille scientifique sur les thématiques particules/santé, de manière à alimenter une base de données off-line.





## INTERREG III-EXPER/PF

### 4-1.2 Communication et valorisation du projet EXPER/PF

Les manifestations organisées par les différents partenaires peuvent permettre de valoriser le projet EXPER/PF :

- Par des interventions portant sur le projet :

Le VMM a diffusé un communiqué de presse avec les mesures de dioxines, y compris les résultats de mesure à Menen, le premier semestre de 2002.

Les résultats de mesures à Menen ont été présentés aux citoyens de Menen lors d'une réunion le 25 novembre 2002.

- par des prises de contact avec des personnes intéressées par le projet, tels que des professionnels de santé (notamment épidémiologistes) ou des représentants des pouvoirs publics

Deux colloques seront organisés sur le projet EXPER/PF : l'un en 2003 pour permettre de présenter la première version de la base de données et de recueillir des avis des publics visés, et le second fin 2004 pour présenter les actions réalisées durant l'ensemble du programme.

Des outils de communication dans les deux langues permettront également la valorisation du projet EXPER/PF :

- *Air Pur*, revue semestrielle et l'APPA, et *Air Pur Infos*, son supplément consacré à l'actualité : articles sur le projet et les résultats.
- *Pollution Atmosphérique*, (où sont diffusés les travaux de la Commission « Particules et santé » de l'APPA), des articles sur le projet EXPER lui seront proposés en fonction de l'état d'avancement des travaux des différents partenaires.
- *Verrekijsker*, revue trimestrielle du VMM : articles sur le projet et les résultats.
- Site Web : initialement hébergé sur le site de l'APPA Nord Pas de Calais, évoluera vers un site « à part entière », avec achat d'un nom de domaine : présentation du projet, des partenaires, des campagnes de mesures, documentation et lien vers la base de données hébergées par HYGEOS ou l'Université du Littoral.





## INTERREG III-EXPER/PF

### 4-2. Actions concrètes réalisées

#### 4-2.1 Action 3 : Communication

##### a) Rappel synthétique

##### (i) Veille scientifique et transfert des connaissances

L'APPA Nord Pas de Calais a participé activement aux travaux de la Commission « Particules et Santé » de l'APPA, et notamment à la rédaction des documents de synthèse publiés dans *Pollution Atmosphérique*.

Deux Journées Thématiques organisées par le Comité Nord Pas de Calais de l'APPA ont contribué à la veille scientifique et au transfert des connaissances dans le domaine Particules et Santé (cf. rapport du premier semestre). Le Comité a également participé à l'organisation de la conférence ADEME/APPA qui s'est déroulée lors du salon Pollutec, consacrée aux particules et à leur impact sanitaire.

Dans le cadre de la veille scientifique, les partenaires du projet ont assisté à des colloques dans lesquels étaient traités la problématique de la pollution particulaire et de ses impacts sanitaires.

##### (ii) Communication et valorisation du projet EXPER/PF

Les partenaires du projet ont présenté des communications dans le cadre de séminaires et colloques scientifiques.

Un document de synthèse présentant brièvement le projet a été rédigé et a servi de support de présentation auprès d'experts du domaine ou d'utilisateurs finaux de la base de données.

Une première version du site Web a été bâtie, et sera mise en ligne, après validation du contenu par les différents partenaires, début 2003.

##### b) Réalisations de l'année 2002

##### (i) Veille scientifique et transfert des connaissances

##### • Commission Particules et santé » de l'APPA

La Commission s'est réunie une seule fois durant cette période : le 18 novembre (cf. l'ordre du jour de cette réunion en Support Annexe 8 ; Liste des membres Cf. Support Annexe 7).

Les thèmes abordés au cours de ces deux réunions ont été :

- la terminologie utilisée pour désigner la pollution particulaire.
- les caractéristiques physiques des particules.
- la pollution particulaire à l'intérieur des lieux publics (exemple du métro parisien).
- les inventaires d'émission de particules primaires.
- la caractérisation des particules en suspension.
- les émissions particulières des véhicules.
- la présentation du projet EXPER/PF.





## INTERREG III-EXPER/PF

Les travaux de la Commission ont donné lieu à la publication d'un article de synthèse dans la revue *Pollution Atmosphérique* :

J. Fontan et les membres de la Commission « Particules et santé » de l'APPA, « Dimensions, dimensions moyennes, fonctions de distribution d'un aérosol », *Pollution Atmosphérique* n°175, juillet-septembre 2002

J. Fontan et les membres de la Commission « Particules et santé » de l'APPA, « Dimensions, dimensions moyennes, fonctions de distribution d'un aérosol », *Pollution Atmosphérique* n°175, juillet-septembre 2002

En 2003, le Comité Nord Pas de Calais de l'APPA devrait assurer l'animation de la Commission « Particules et santé », en lien avec les Professeurs Festy (Président de l'APPA nationale) et Fontan (Président du Comité Régional Midi-Pyrénées de l'APPA, Président de la Commission « Particules et Santé »).

### • Veille scientifique

Dans le cadre de la veille scientifique, les partenaires du projet ont assisté à des colloques dans lesquels étaient traités la problématique de la pollution particulaire et de ses impacts sanitaires, et notamment :

- la Journée d'Etudes du CITEPA, le 22 octobre
- le séminaire « PRIMEQUAL Particules », le 21 novembre

(Programme des colloques Cf. Support Annexe 9).

### • Transfert des connaissances et journées thématiques

Deux Journées Thématiques organisées par le Comité Nord-Pas de Calais de l'APPA ont contribué à la veille scientifique et au transfert des connaissances dans le domaine de la Pollution Particulaire, de la télédétection, et de la gestion de la qualité de l'air, notamment grâce aux Systèmes d'Information Géographiques (SIG).

- la Journée Interdisciplinaire sur la Qualité de l'Air, le 23 mai à Villeneuve d'Ascq.
- le séminaire « SIG et cartographie dans le domaine de l'Air », le 20 juin à Villeneuve d'Ascq.

(Cf. Support annexe 10, programmes de ces deux journées).

Chacune de ces manifestations a réuni environ 70 participants. Plusieurs partenaires du projet EXPER/PF étaient présents lors de ces journées.

Le Comité Nord-Pas de Calais de l'APPA a participé à l'organisation de la conférence ADEME/APPA qui s'est déroulée lors du salon Pollutec, à Lyon, le 27 novembre, dont le thème était : « *Pollution Atmosphérique particulaire : "Vrai problème ou écran de fumées" - quelles clefs pour la prévention ?* ». (Cf. Support Annexe 11, Programme de la Conférence).

Un article sur le projet EXPER/PF est en préparation, et paraîtra dans le n°7 d'*Air Pur Infos* (janvier 2003).





## INTERREG III-EXPER/PF

### 4-2.2 Communication et valorisation du projet EXPER/PF

#### a) Communications présentées par les partenaires dans des colloques scientifiques

Vidot J. et Santer R.

« *Métrologie des particules fines en suspension par télédétection spatiale* »

Journée Interdisciplinaire sur la Qualité de l'Air, Villeneuve d'Ascq, 23 mai 2002

#### b) Présentations du projet EXPER/PF aux experts, utilisateurs de la base, médias

Le projet a été présenté aux experts de la Commission « Particules et santé » de l'APPA le 24 avril 2002 (cf. § b)1.).

Les objectifs du projet EXPER/PF ont été présentés aux chercheurs impliqués dans le projet « Qualité de l'Air » de Contrat de Plan Etat-Région Nord-Pas de Calais, lors d'une réunion de travail consacrée aux particules.

Des premiers contacts ont été pris avec la presse écrite spécialisée (Pollution Atmosphérique, Air Plus, Contact Santé).

Le VMM a diffusé un communiqué de presse avec les mesures de dioxines, y compris les résultats de mesure à Menen, le premier semestre de 2002.

Les résultats de mesures à Menen ont été présentés aux citoyens de Menen lors d'une réunion le 25 novembre 2002.

Le projet devait également être présenté en décembre 2002 aux associations adhérentes à la Maison Régionale de Promotion de la Santé (MRPS), partenaire de l'APPA Nord Pas de Calais. Pour des raisons de programmation internes à la MRPS, cette présentation a été reportée en janvier 2003.

#### c) Pages Web du projet EXPER/PF

Dans un premier temps, les pages Web consacrées au projet EXPER/PF seront hébergées sur le site de l'APPA Nord Pas de Calais ([www.appanpc-asso.org](http://www.appanpc-asso.org)). A l'avenir, il est envisagé un site propre, avec son propre nom de domaine (ex : [experpf.org](http://experpf.org)). Cette question de nom de domaine sera évoquée début 2003 en Comité d'accompagnement.

Le site Web comportera, dans les deux langues, les rubriques suivantes :

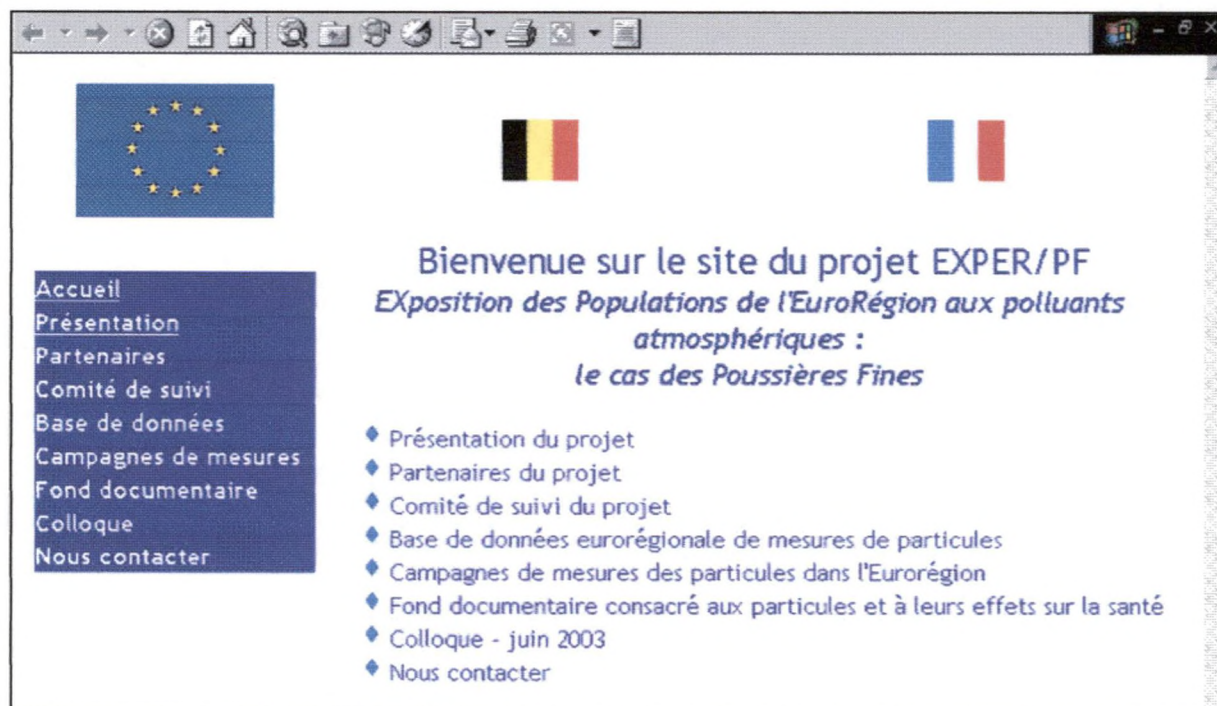




## INTERREG III-EXPER/PF

Rubrique	Contenu
Accueil	Affiche le contenu du site (cf. illustration ci-dessous)
Présentation	Présentation succincte du projet, basée sur le document synthétique réalisé au premier semestre, et mention des financeurs du projet
Partenaires	Présentation des partenaires, avec liens vers les sites web respectifs
Comité de suivi	En projet – Liste des membres du Comité d'experts scientifiques suivant le projet (réalisé dans le cadre du projet ATTMA, volet « franco-britannique » d'EXPER/PF
Base de données	Lien vers la base de données de mesures réalisée dans l'action 1, hébergée par HYGEOS ou l'Université du Littoral
Campagnes de mesures	Articles concernant les campagnes de mesures réalisées dans le cadre de l'action 2
Fond documentaire	Liste d'articles, de liens, documents consacrés aux particules et à leur impact sanitaire
Colloque	Présentation du colloque de juin 2003 : Programme, lieu, modalités d'inscription (formulaire d'inscription en ligne en cours de test), ... et actes à l'issue du colloque
Nous contacter	Possibilité d'envoyer un mail au webmaster du site, qui transmettra aux partenaires du projet

La page d'accueil de la version française du site est illustrée ci-dessous :  
 Page d'accueil du site EXPER/PF, version française





## INTERREG III-EXPER/PF

### d) Préparation du Colloque EXPER/PF de 2003

Le colloque EXPER/PF qui permettra de recueillir les avis des utilisateurs finaux de la base de données : pouvoirs publics, chercheurs, professionnels de l'environnement et de la santé.

Il permettra également de faire le point sur les avancées récentes concernant la pollution atmosphérique particulaire et ses impacts sanitaires :

- par des communications d'experts reconnus du domaine (sollicitation de membres de la Commission « Particules et santé » de l'APPA).
- par un appel à communication par posters auprès de la communauté scientifique nationale, et notamment auprès des doctorants et post-doctorants du « Réseau Jeunes Chercheurs » de l'APPA..

L'APPA Nord-Pas de Calais a débuté l'organisation de ce colloque (lieux et dates possibles, pré-programme et intervenants pressentis, ...). Tous ces points seront discutés avec les partenaires lors de la réunion du Comité d'Accompagnement début 2003.





INTERREG III-EXPER/PF

## **Programme INTERREG III Sous-programme franco flamand**

### **PROJET EXPER/PF :**

Exposition des **P**opulations vivants au cœur de l'**E**uro-**R**égion  
aux polluants atmosphériques : le cas des **P**oussières **F**ines

## **SUPPORT ANNEXES DU RAPPORT TECHNIQUE 2002**

Janvier 2003

- 1 -



## SOMMAIRE

### ANNEXE 1

Présentation du projet EXPER/PF par richard SANTER du 11 mars 2002

Exposition des populations vivants au cœur de l'euro-région aux polluants atmosphériques : le cas des poussières fines: EXPER/PF .....4

### ANNEXE 2

Présentation du projet ATTMA, par D. RAMON du 11 mars 2002 Interreg III FRANCE/UK-ATTMA project (Aerosol Transport in the Trans-Manche Atmosphere).....8

### ANNEXE 3

Présentation du projet de développement d'instrumentation Optique, par R. SANTER..... 13

### ANNEXE 4

Présentation le 12 mars 2002 devant les partenaires du projet EXPER/PF. Tour d'horizon des données disponibles pour le projet EXPER/PF ..... 15

### ANNEXE 5

Présentation le 18 septembre 2002 devant les partenaires du projet EXPER/PF. Structuration de la base de données ..... 18

### ANNEXES 6

Bibliographie des auteurs sur la télédétection des aérosols ..... 22

ESA EO Projects Website - EO Proposal Information - ID 1150

Title fine particle mass estimation from ENVISAT/MERIS  
Class CAT-1 ..... 28

Extension of the DDV concept to retrieve aerosol properties over land from the modular optoelectronic scanner (MOS) sensor.

R. BORDE, D. RAMON, C. SCHMECHTIG AND R. SANTER ..... 32

Aerosol remote sensing over land: comparison of two methods

VIDOT J., BORDE R. AND SANTER R..... 63

First validation of MERIS aerosol product over land

RAMON D., SANTER R., VIDOT J. .... 76

### ANNEXE 7

Liste des membres de la commission « Particules et santé » de l'APPA ..... 85

### ANNEXE 8

Ordre du jour des réunions de la commission « particules et santé » ..... 86  
DU 24 janvier ; 22 avril et 18 novembre 2002

### ANNEXE 9

Programmes des Séminaires du CITEPA et PRIMEQUAL Particules ..... 87

Journée d'études CITEPA, le 22/10/02

« Emissions diffuses et fugitives : la fin d'un mystère, le début d'une norme »

Journée d'étude PRIMEQUAL Particules, le 21/11/02





## INTERREG III-EXPER/PF

### ANNEXE 10

Liste des communications présentées lors des journées thématiques ..... 89

Journée interdisciplinaire qualité de l'air *Villeneuve d'Ascq* – 23 mai 2002

SIG et cartographie dans le domaine de l'air *Villeneuve d'Ascq* – 20 juin 2002

### ANNEXE 11

Conférence ADEME/APPA – POLLUTEC 2002, le 27 novembre 2002..... 92

Pollution atmosphérique particulière : "Vrai problème ou écran de fumées" ? Quelles clefs pour la prévention ?



INTERREG III-EXPER/PF

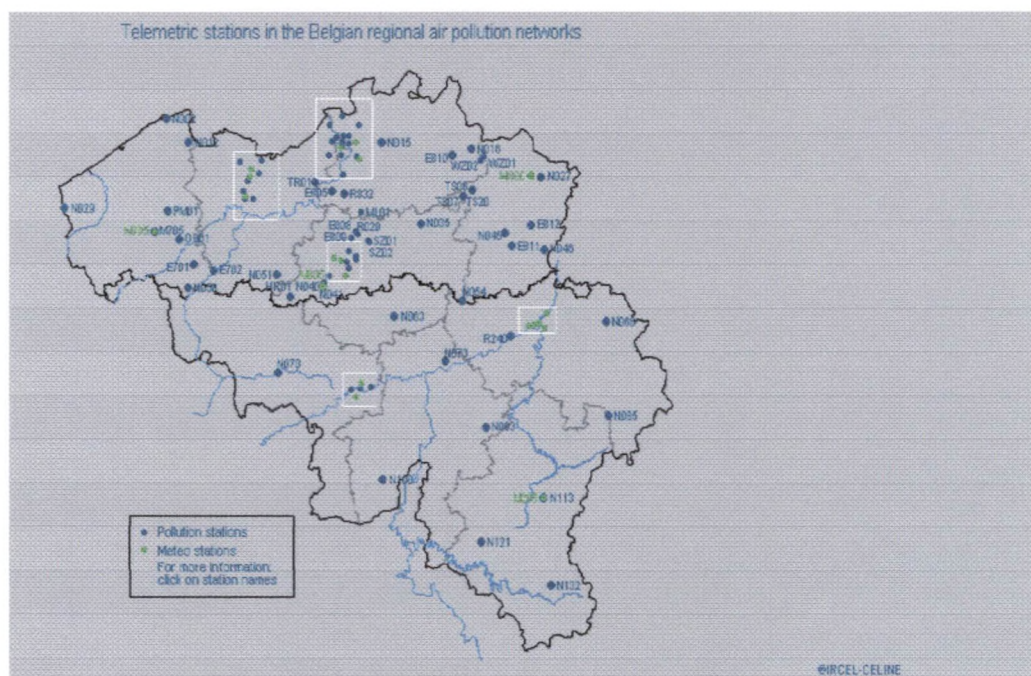
## ANNEXE 1

### PRESENTATION DU PROJET EXPER/PF PAR RICHARD SANTER DU 11 MARS 2002

**EX**position des **P**opulations vivants au cœur de l'**Euro-R**égion aux polluants atmosphériques  
: Le cas des **P**oussières Fines: **EXPER/PF**



### AIR QUALITY NETWORK

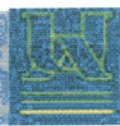


**Afdelingshoofd Meetnetten en Onderzoek**  
**Responsable du projet : Dr. Edward Roekens**

Janvier 2003

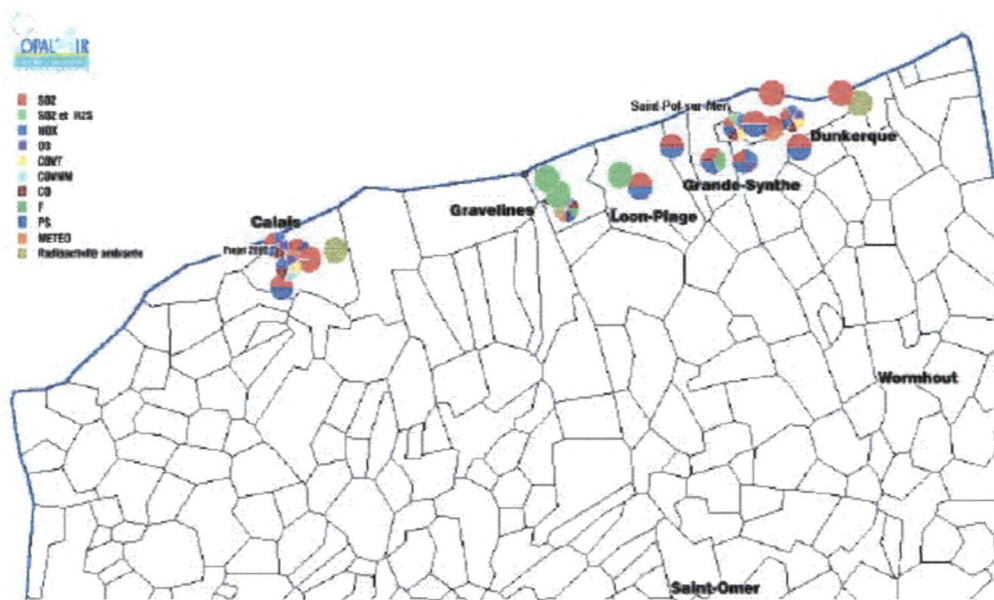
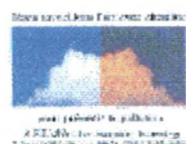
- 4 -



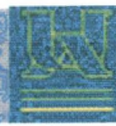


INTERREG III-EXPER/PF

**AREMA Lille Métropole Responsable du projet : M Jean-Yves SAISON**

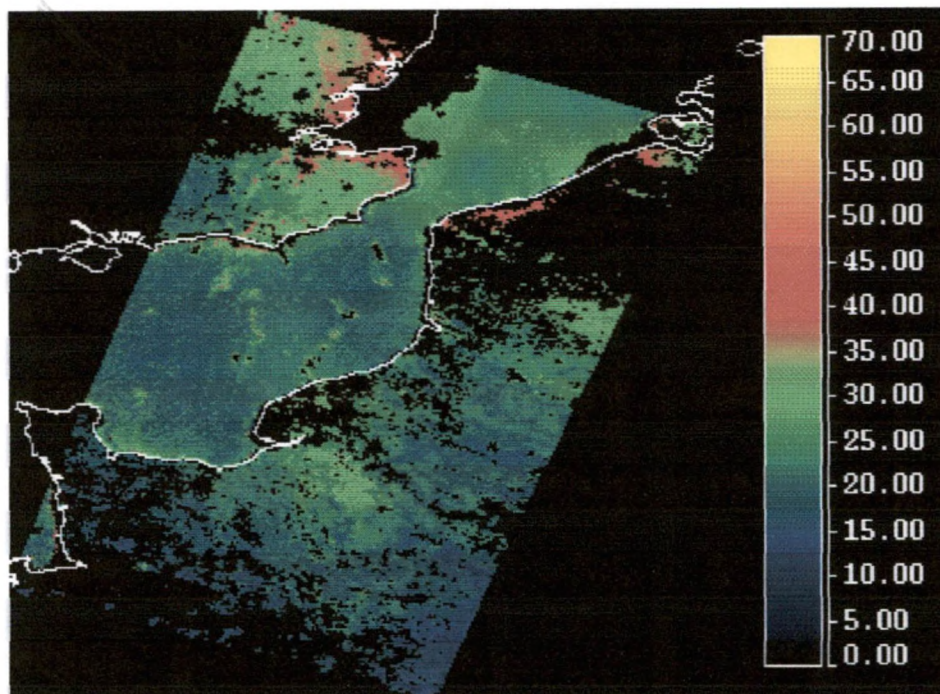


Janvier 2003



INTERREG III-EXPER/PF

### AEROSOL REMOTE SENSING



HYdrogéologie, Observation Spatiale, Environnement (HYGEOS)  
Responsable du projet : Dr RAMON Didier

### HOW TO INCLUDE SATELLITE IMAGERY

- More illustrative than operational
- Calibrate satellite aerosol products on ground based measurements
- Give the aerosol rural background

### A TRANSFRONTIER DATA BASE

Increase fine particle measurements:

PM10-PM2.5 particle counters

Generate a data base on real time:

PM10-PM2.5

Satellite imagery

Auxiliary data: meteorological informations

Use internet for dissemination

### A PILOT STUDY AROUND LILLE

- VMM+AREMA

Janvier 2003

- 6 -





## INTERREG III-EXPER/PF

- U of A and ULCO (ADRINORD) for chemical characterisation of the minor component
- Hygéos and ULCO (ADRINORD) for optical measurements

### INFORMATION SOCIETY

Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (APPA)

Responsable du projet : Dr SCHADKOWSKI Corinne

Web site

Information dissemination to the public using newspapers

Lobbying



INTERREG III-EXPER/PF

## ANNEXE 2

### PRESENTATION DU PROJET ATTMA, PAR D. RAMON DU 11 MARS 2002



#### INTERREG III France/UK

#### ATTMA project

(Aerosol Transport in the Trans-Manche Atmosphere)

#### Partnership

- ADRINORD and ULCO
- HYGEOS
- AREMA (and other networks)
- APPA
- University of East Anglia
- University of Greenwich
- Kent County Council

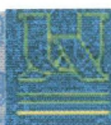
#### Goals

- PM & Health
- Aerosol & Ecosystem
- Aerosol & Regional scale
- Ground Network Density
- Aerosol Measurement Difficulties
- Euro-Regional Sources
- Euro-Regional Skill Centre on PM

Janvier 2003

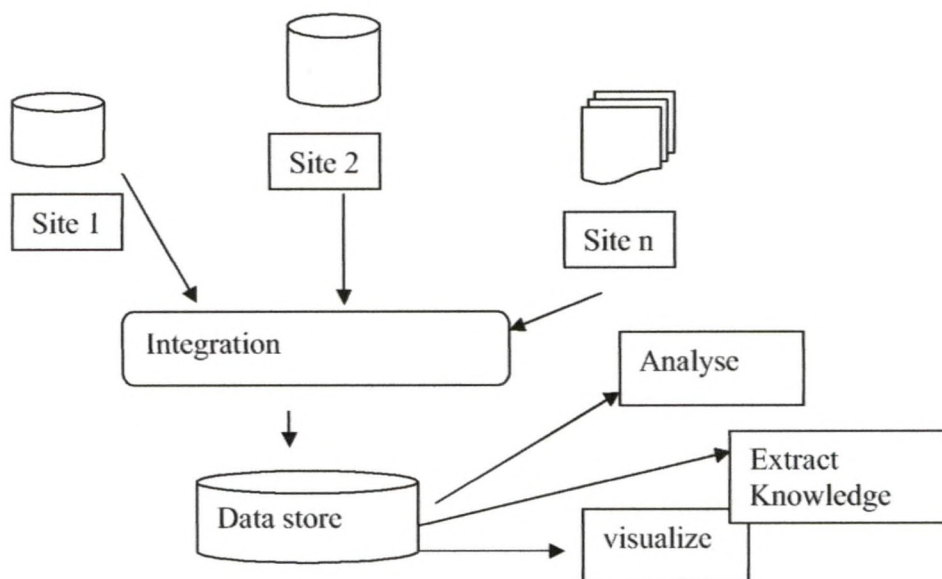
- 8 -





INTERREG III-EXPER/PF

### Data Management



### Database Organisation

- Two levels
  - Full DB for methodology
  - Near Real Time DB
- Access
  - Fully open part (Documents and AQ Map)
  - Partly open to Final Users / Local Authorities

Restricted Access to Partners

### Data Base Content

- PM
  - Routinely acquired
  - Campaign
- Physico-chemical properties
  - Campaigns
  - NRT for SEM (UoG)
- Optical properties (in-situ, space borne)
  - Mainly off-line
- Meteo data
  - NRT for basic parameters (Synoptic charts, Back-trajectories)
  - Some Off line meteo advanced analysis on request

Janvier 2003



## INTERREG III-EXPER/PF

### Project Plan (2 years funded!)

- Initialisation
    - Steering Committee
    - End Users Requirements
    - Data Base Final Architecture Specification
  - Development
    - Data Acquisition/ D.B. Filling Protocol Test/ Integration
- Start Analysis Tools

### Project Plan

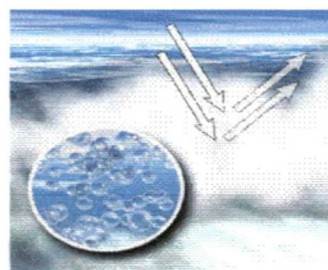
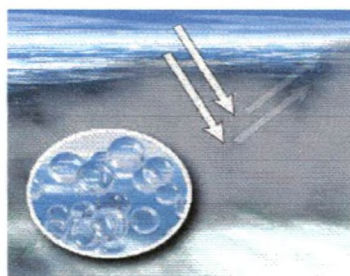
- Exploitation
  - DB Query / Website
  - Test Case Studies
  - Methodology for Use of Optical Data
- Conclusion
  - Recommendations for DB Improvements, New Outputs.

How the project live after?

### Communication

- Link To EXPER/PF Communication Plan (APPA)
- Steering Committee Constitution (APPA)
- Web-site (Documentation part) (APPA,KCC)
- Brochures , Conferences (3), (APPA,KCC)

### Aerosol Optical Properties

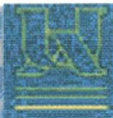


### **Aerosol Optical Properties**

=

**f (amount, size, chemical composition, shape)**





INTERREG III-EXPER/PF

## Aerosol Optical Detection

### Sunphotometers

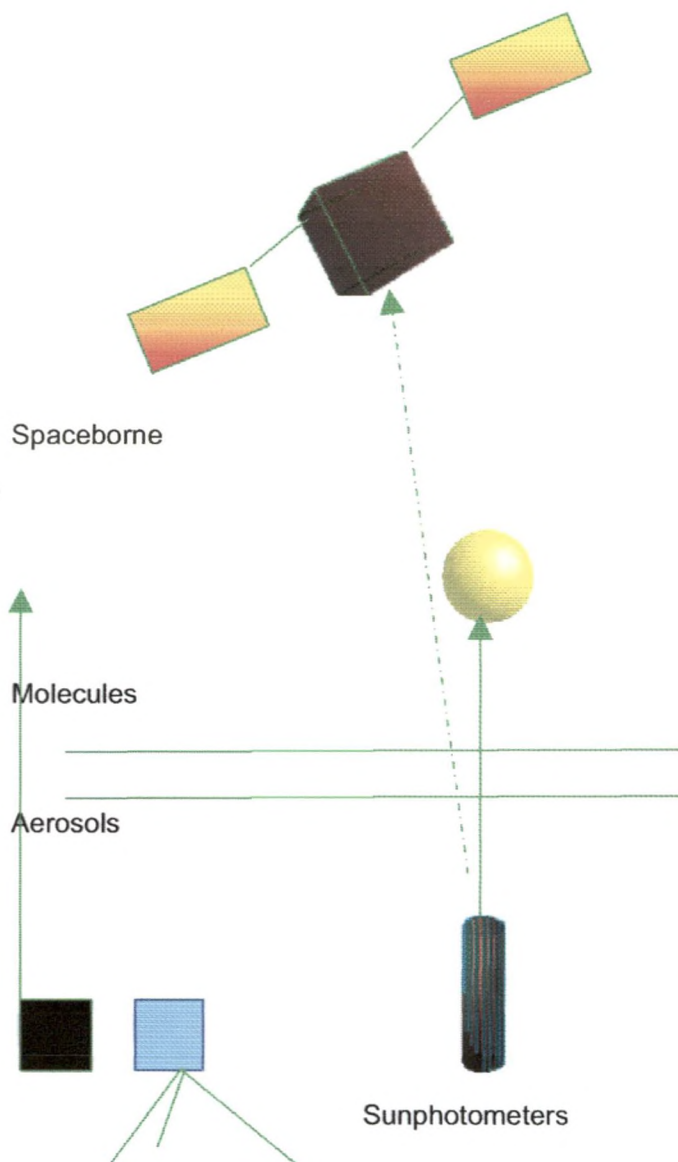
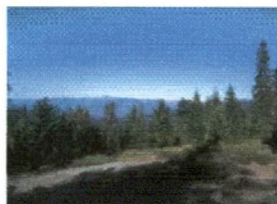
### POLDER

Everywhere

MERIS, SeaWiFS, MODIS,...

Dark Vegetation

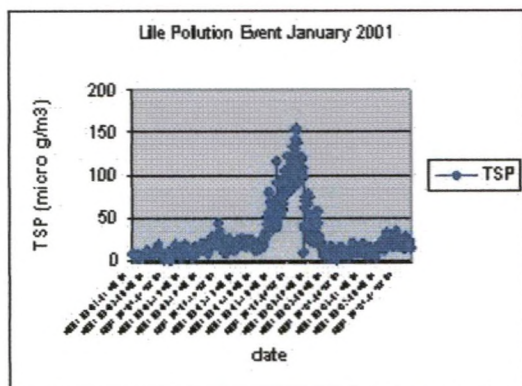
Ocean



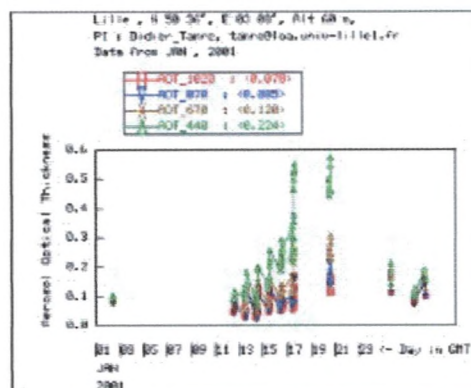
Janvier 2003

- 11 -

PM/Optical correlation (January 2001)

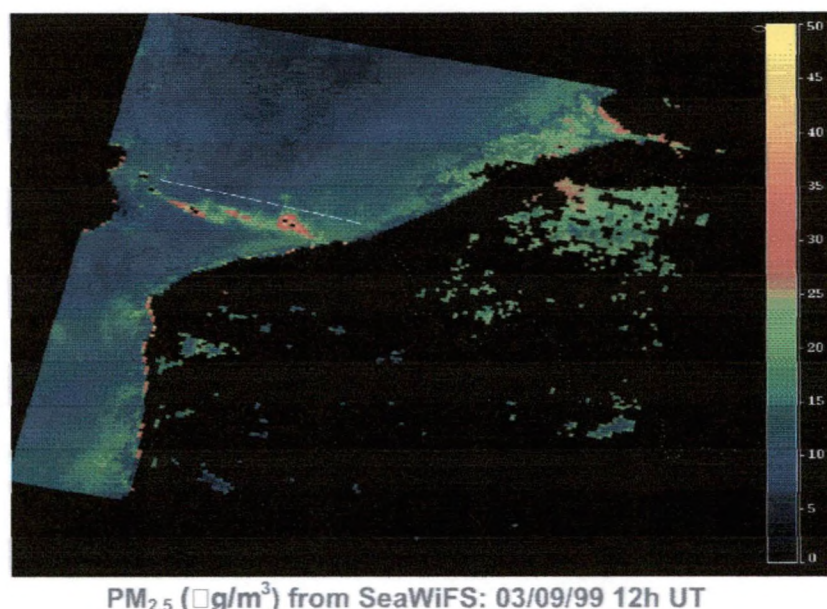


Sun-photometer measurements



Sun-photometer measurements

Test case







INTERREG III-EXPER/PF

## ANNEXE 3

### PRESENTATION DU PROJET DE DEVELOPPEMENT D'INSTRUMENTATION OPTIQUE, PAR RICHARD SANTER

Réf. : contacts pris avec l'université du Kent et ULCO pour mettre en valeur des compétences en atmosphérique optique communes.

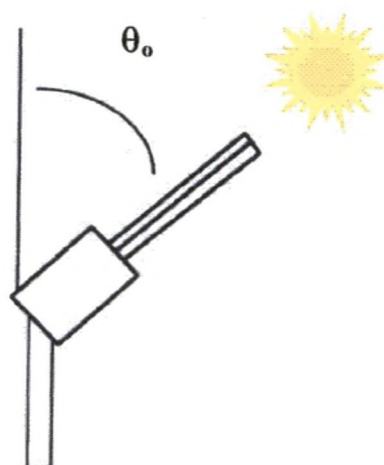
#### MESURES OPTIQUES



#### PRINCIPES GÉNÉRAUX

- Les aérosols atténuent et diffusent la lumière
- Ces propriétés optiques sont reliées aux propriétés physico-chimiques: formes, distribution en taille, indice de réfraction
- 

#### LES MESURES DU SOLEIL



Janvier 2003

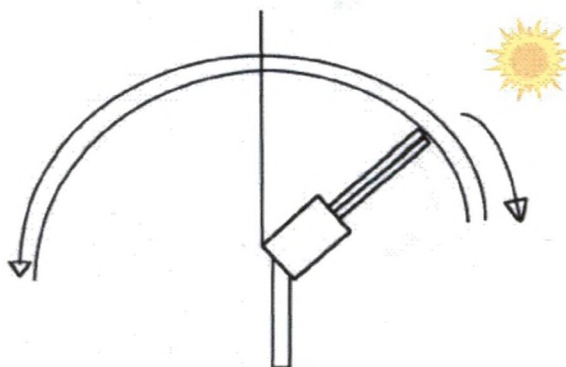
- 13 -

## LES MESURES D'EXTINCTION

- L'épaisseur optique des aérosols  $\tau$

Relation et distribution en taille des particules

## MESURES DU CIEL



- Relation utile à la télédétection spatiale
- Données intégrées sur la colonne atmosphérique
- Ciel clair



## ANNEXE 4

Présentation le 11 mars 2002 devant les partenaires du projet EXPER/PF. Tour d'horizon des données disponibles pour le projet EXPER/PF



### INTERREG III France/Flandres

**Projet EXPER/PF**  
(EXposition des Populations aux polluants atmosphériques dans l'Euro-Région, le cas des Poussières Fines)

D. Ratten, HYGEOS



### Objectifs

- Relation Particules Fines & Santé
- Aérosols & Ecosystème
- Aérosols à l'échelle régionale
- Améliorer la couverture du réseau au sol
- Cartographie spatiale
- Identification des sources Euro-Régionales
- Constitution d'un Centre de Compétence Euro-régionale sur les Poussières Fines

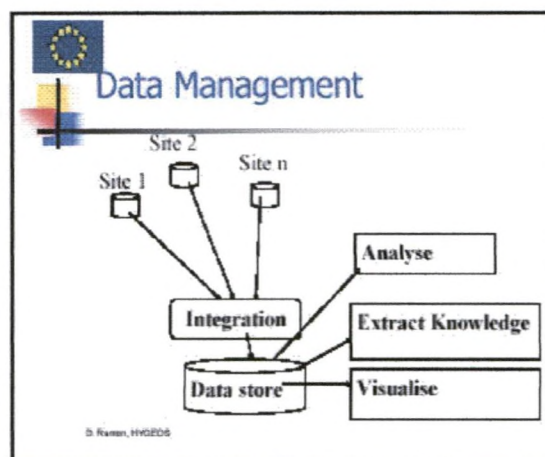
D. Ratten, HYGEOS



### Partenariat

- Adrinord et Université du Littoral
- HYGEOS
- AREMA (et autres réseaux qualité de l'air)
- APPA
- VMM (Vlaamse Milieumaatschappij)
- University of Antwerpen
- VLIZ (Vlaams Instituut voor de Zee)


D. Ratten, HYGEOS




### Data Base Organisation

- Two levels
  - Full DB for methodology
  - Near Real Time DB
- Access
  - Fully open part (Documents and AQ Map)
  - Partly open to Final Users / Local Authorities
  - Restricted Access to Partners

D. Ratten, HYGEOS



### Base de Données

**PM10 et PM2.5**

- Données réseaux quasi-temps réel
- Campagnes de mesures
- Propriétés Physico-chimiques
  - Campagnes de mesures
- Propriétés Optiques (in-situ, spatiales)
  - Principalement off-line
- Données Météo
  - Quasi temps réel pour les paramètres de base (cartes synoptiques, Rétro-trajectoires)

D. Ratten, HYGEOS

### Project Plan (2 years funded!)

1. Initialisation
  - Steering Committee
  - End Users Requirements
  - Data Base Final Architecture Specification
2. Development
  - Data Acquisition/ D.B. Filling Protocol Test/ Integration
  - Start Analysis Tools

D. Ramon, HYGEOS

### Project Plan ...

3. Exploitation
  - DB Query / Website
  - Test Case Studies
  - Methodology for Use of Optical Data
4. Conclusion
  - Recommendations for DB Improvements, New Outputs.
  - How the project live after?

D. Ramon

### Communication

- Link To EXPER/PF Communication Plan (APPA)
- Steering Committee Constitution (APPA)
- Web-site (Documentation part) (APPA, KCC)
- Brochures, Conferences (3), (APPA, KCC)

D. Ramon

### Aerosol Optical Properties

Aerosol Optical Properties  
f (amount, size, chemical composition, shape)

D. Ramon

### Aerosol Optical Detection

POLDER Everywhere

MERIS, SeaWiFS, MODIS, ...

Dark Vegetation Ocean

Molecules

Aerosols

Sunphotometers

Optical counters

D. Ramon

### PM/Optical correlation (January 2001)

Like Pollution Event January 2001

PM networks measurements

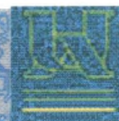
Sun-photometer measurements

D. Ramon

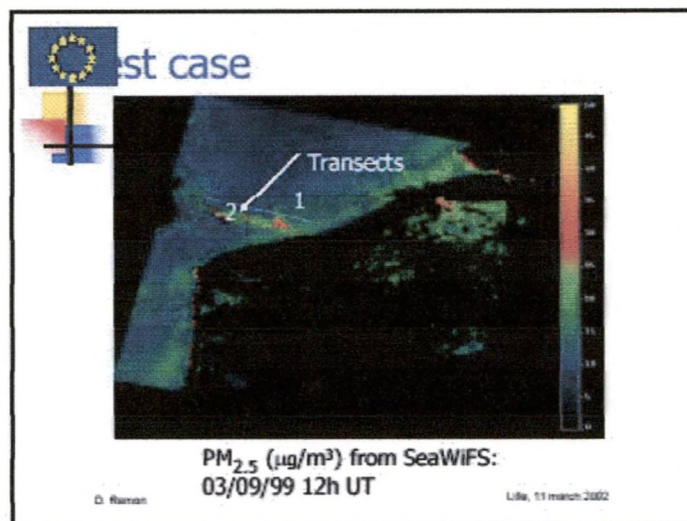




HYGEOS




INTERREG III-EXPER/PF





## ANNEXE 5


Présentation le 18 septembre 2002 devant les partenaires du projet EXPER/PF.  
Structuration de la base de données



### INTERREG III : EXPER/PF

Task 1 : Data Base


D. Ramon, HYGEOS Kick-off : 18 septembre 2002



### Raw Data/Networks/Routine

- Non validated routinely acquired data
- PM10, PM2.5, Ozone, NO2, basic meteo ...
- ¼ h sampling rate
- Near-real time transmission via modem to the server of the air quality networks.
- "X air" Data Handling /Management software
- Delivery to national databases.
- Validation


D. Ramon, HYGEOS Kick-off : 18 septembre 2002



### Raw Data/Networks/Campaign

- Same routinely acquired data
- + trace metals (France)
  - 4 days sampling rate
  - Released/validated weeks after
- + trace metals / ions (Belgium)
  - Released/validated months after
- PM detailed analysis
  - Released/validated weeks after


D. Ramon, HYGEOS Kick-off : 18 septembre 2002



### Raw Data/Networks

- Geographical area
  - Minimum (project starting point)
    - Flanders
    - AREMA / Lille
    - Côte d'Opale
  - Extension to be negotiated
    - Brussels / whole Belgium
    - North of France remaining networks


D. Ramon, HYGEOS Kick-off : 18 septembre 2002



### Raw Data/Availability

- Networks , France
  - Data transmitted twice a day (~ 9h,14hTU)
  - Time-step : 1h
  - Validation performed in the row , especially for PM
  - Gathered by National Database (BDQA) ~ every week
  - Local server isolated from Internet (but manual transfer is possible if required)

D. Ramon, HYGEOS Kick-off : 18 septembre 2002

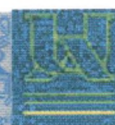


### Raw Data/Availability

- Networks , Belgium
  - Data transmitted every hour
  - Time-step : 1h
  - Validation performed off-line and sent to Data Base 6 times per year.
  - Non validated data gathered by National Database (IRCE) in real time.
  - Local server isolated from Internet (but automatic transfer is possible via IRCE)

D. Ramon, HYGEOS Kick-off : 18 septembre 2002




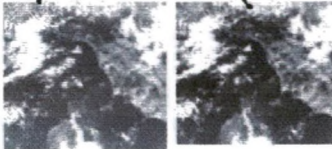


## INTERREG III-EXPER/PF

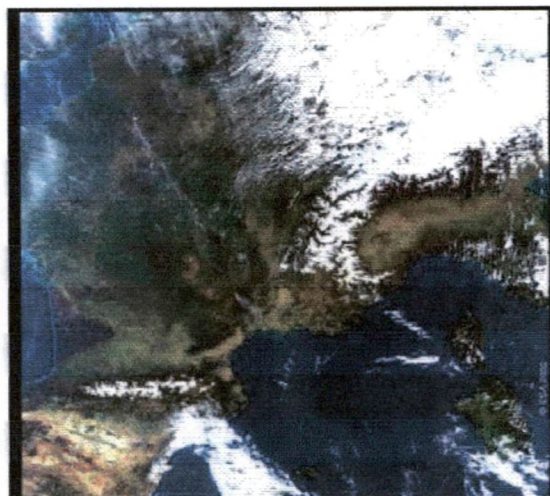
### Raw Data/Satellite Images

North Sea - MERIS - 17 May 2002

- ENVISAT/MERIS
  - Browse Image (Reduced Resolution)
  - Sub-scene over the region
  - Calibrated Image (L1B)
  - Geophysical Products (L2)



D. Ramon, HYGEOS  
Kick-off, 18 september 2002



### Raw Data/Satellite Images

Mediterranean Sea - SeaWiFS - 17 May 2002

- SeaWiFS
  - Browse Image
  - Sub-scene over the region
  - Calibrated Image (L1B)
  - Geophysical Products (L2)





D. Ramon, HYGEOS  
Kick-off, 18 september 2002

### Raw Data/Satellite Images

North Sea - MERIS - 17 May 2002

- ENVISAT/MERIS
  - ENVISAT/AATSR-SCHIAMACHY to be negotiated
  - Browse Image
  - Calibrated Image sub-scened over the region



D. Ramon, HYGEOS  
Kick-off, 18 september 2002

### Raw Data/Sunphotometers

- Level 0 product :
  - Numerical counts
- Level 1 product :
  - Aerosol optical thickness
  - Sky radiances
- Level2 products :
  - Aerosol
    - type (Angstrom coefficient)
    - phase function
    - size distribution
  - Total Flux at ground level

D. Ramon, HYGEOS  
Kick-off, 18 september 2002

### Raw Data/Availability

- Satellite Radiance Images
  - Data transmitted offline with indefinite delay at the moment
  - Time-step : at best 2 times/day
  - No Validation.
  - Put into the Database at HYGEOS manually
    - Near Real Time at the end of the project for demonstration if needed and to be negotiated

D. Ramon, HYGEOS  
Kick-off, 18 september 2002





## INTERREG III-EXPER/PF

### Raw Data/Availability

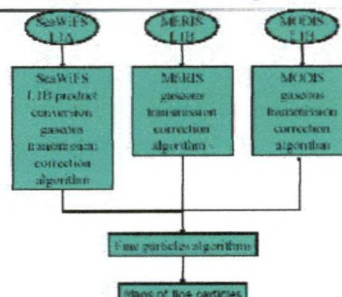
#### Sunphotometer

- Data level 0 transmitted offline with short delay at the moment (but level 0 is quite meaningless)
- Time-step : almost continuous
- Level 1 data (Validated/Filtered) is performed offline within one week.
- Put into the Database at HYGEOS manually
- NRT to be negotiated with AERONET

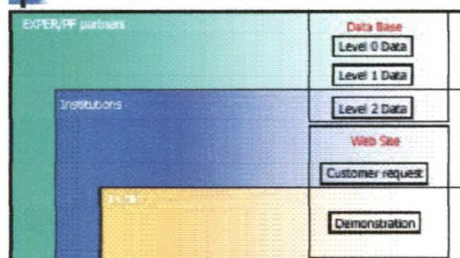
D. Rancin, HYGEOS

10-09-2002

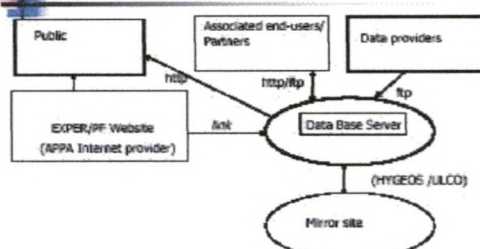
### L2 Data Processing/Satellite



### Database : access level



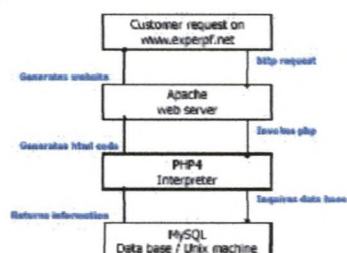
### System



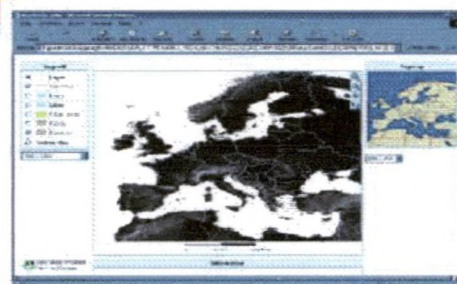
D. Rancin, HYGEOS

10-09-2002

### DataBase Software Solution



### Mapping Interface/Mapserver



D. Rancin, HYGEOS

10-09-2002



## Project Planning (1)

- Initial Step (T0 to End-Users Workshop)
  - Getting Data Formats/Build up Raw database
  - Build web interface
  - Testing Transfer Protocol for data providers
  - Testing Basic Request and download from the Internet

D. Raman, HYGEOS

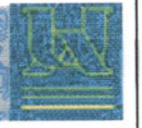
Kick-off, 16 september 2002

## Project Planning (2)

- Consolidation (T1 -> T1+1 year)
  - Summarize End-Users requirements
  - Process and Add Some Level 2 data
  - Initiate advanced L2 algorithms
  - Implementing multi-level access
  - Implementing full user interface/request tools
  - Progressively opening the system

D. Raman, HYGEOS

Kick-off, 16 september 2002



## ANNEXES 6

### BIBLIOGRAPHIE DES AUTEURS SUR LA TELEDETECTION DES AEROSOLS

**SANTER R., CARRERE V., DUBUISSON P., & ROGER J.C.** (1999). Atmospheric correction over land for MERIS, International Journal of Remote Sensing, Vol. 20. Issue 9, p 1819-1840.

**RAMON D., SANTER R.** (2001) "Operational remote sensing of aerosols over land to account for directional effects." Applied Optics, Vol 40 (18): 3060

**SCHMECHTIG C., CARRERE V., DUBUISSON P., ROGER J.-C. And SANTER R..** MERIS atmospheric correction over land –sensitivity analysis and error budget: aerosol retrieval over dark dense vegetation. Sous presse dans International Journal of Remote Sensing.

**BORDE R., RAMON D., SCHMECHTIG C., SANTER R.** Extension of the DDV concept to retrieve aerosol properties over land from the Modular Optoelectronic Scanner sensor. Sous presse dans International Journal of Remote Sensing.

**RAMON D., SANTER R., BORDE R & DUBUISSON P.** (1998). MOS Operational algorithm for atmospheric corrections over land. Proceedings 2 th MOS Workshop, Berlin.

**BORDE R., RAMON R., DUBUISSON PH., DESSAILLY D ., SANTER R , REGNER P.** (1999) « Validation of MOS\_IRS algorithm developed to generate Level2 products over land », in Proceedings 3<sup>rd</sup> Workshop MOS\_IRS and ocean color, Berlin, avril 1999.

**SCHMECHTIG C.& SANTER R..**"Adjacency Effects on Atmospheric Correction over Land for MOS and MERIS sensors". International Radiation Symposium 2000. Saint Petersburg, 24-29 July. .

**RAMON D. & SANTER R.,** 2000. "Remote sensing of the aerosol over land accounting for the directionnal effects". International Radiation Symposium 2000. Saint Petersburg, 24-29 July.

**SCHMECHTIG C, BORDE R., RAMON D., DESSAILLY D., SANTER R.** (2001) Validation of the atmospheric correction over land algorithm for the MOS sensor, Internatioanl Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Aussois, France. Editeur CNES Toulouse, pp. 179-184.

**ZAGOLSKI F., PERRON G., SANTER R., FISCHER J., DELWART S., HUOT J.P.** (2001). Inter validation of two radiative transfer codes used for MERIS level-2 processing. ISSSR'2001 (Quebec).

**SCHMECHTIG C, RAMON D., DESSAILLY D., SANTER R.** (2001) Validation of the atmospheric correction over land algorithm for the MOS sensor, Proceedings 4th Workshop MOS\_IRS and ocean color, Berlin, may 2001.

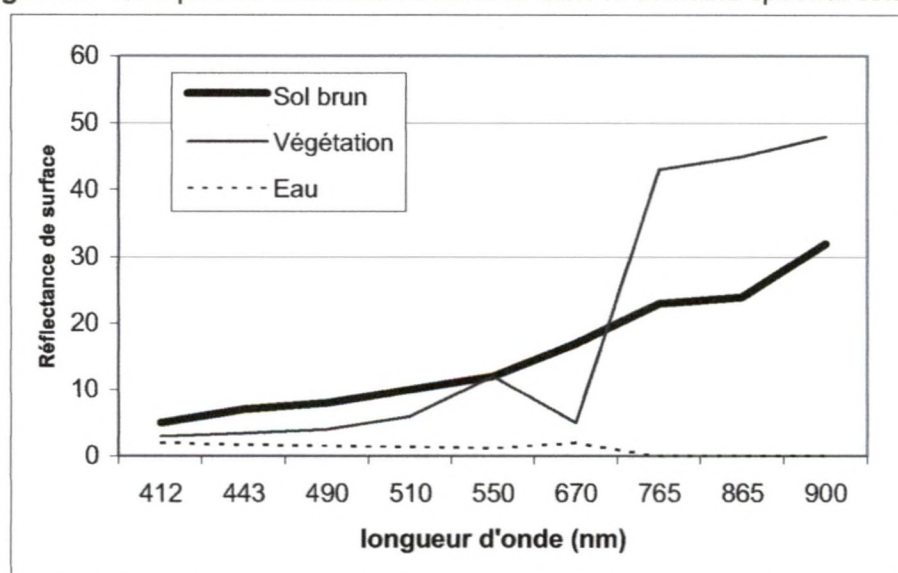


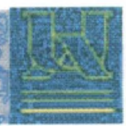
## FIGURES

**Figure 1** : L'image SeaWiFS du 3 septembre 1999 sur laquelle on voit nettement un panache d'aérosols sur le détroit.



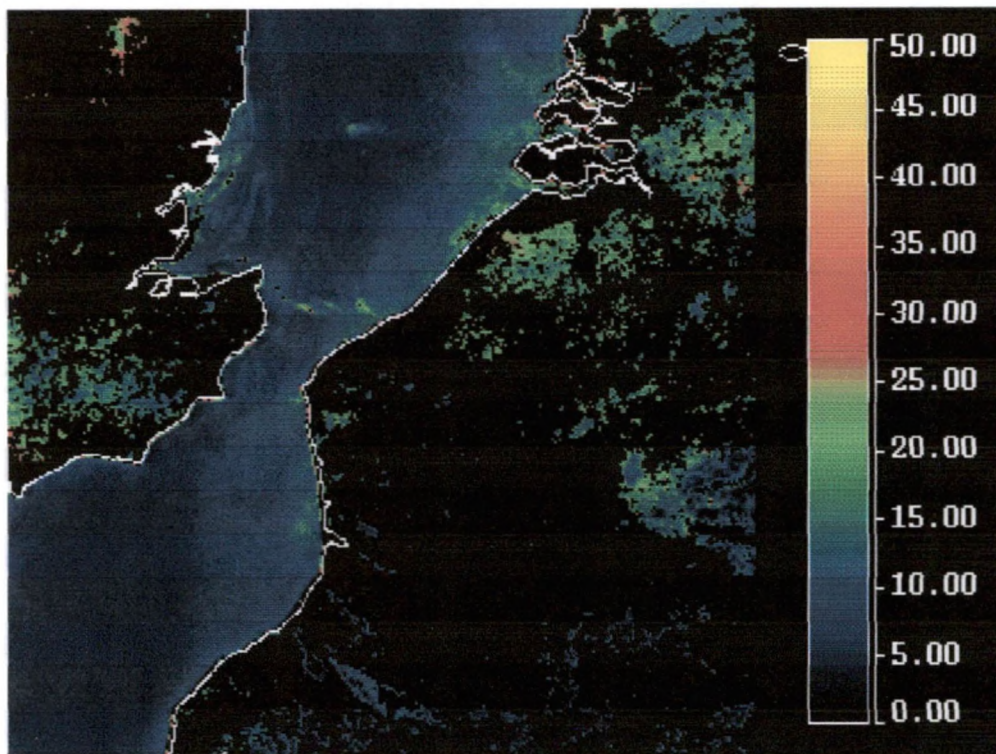
**Figure 2** : Quelques réflectances de surface dans le domaine spectral solaire.



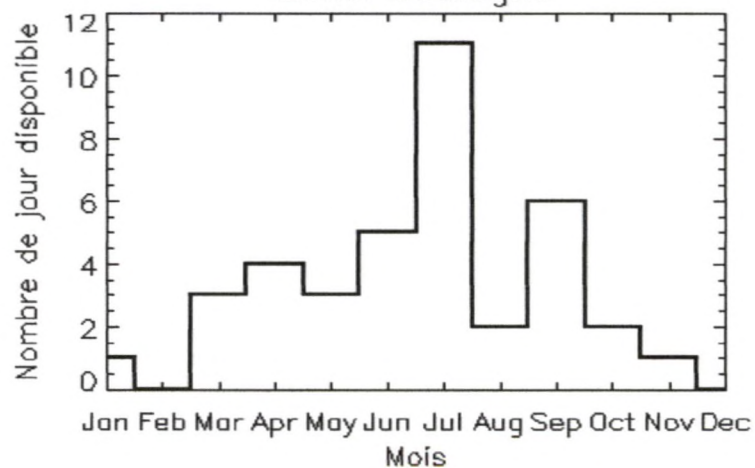


INTERREG III-EXPER/PF

**Figure 3 :** Carte de PM<sub>2.5</sub> (en microg/m<sup>3</sup>) obtenue à partir de l'image SeaWiFS du 3 septembre 1999

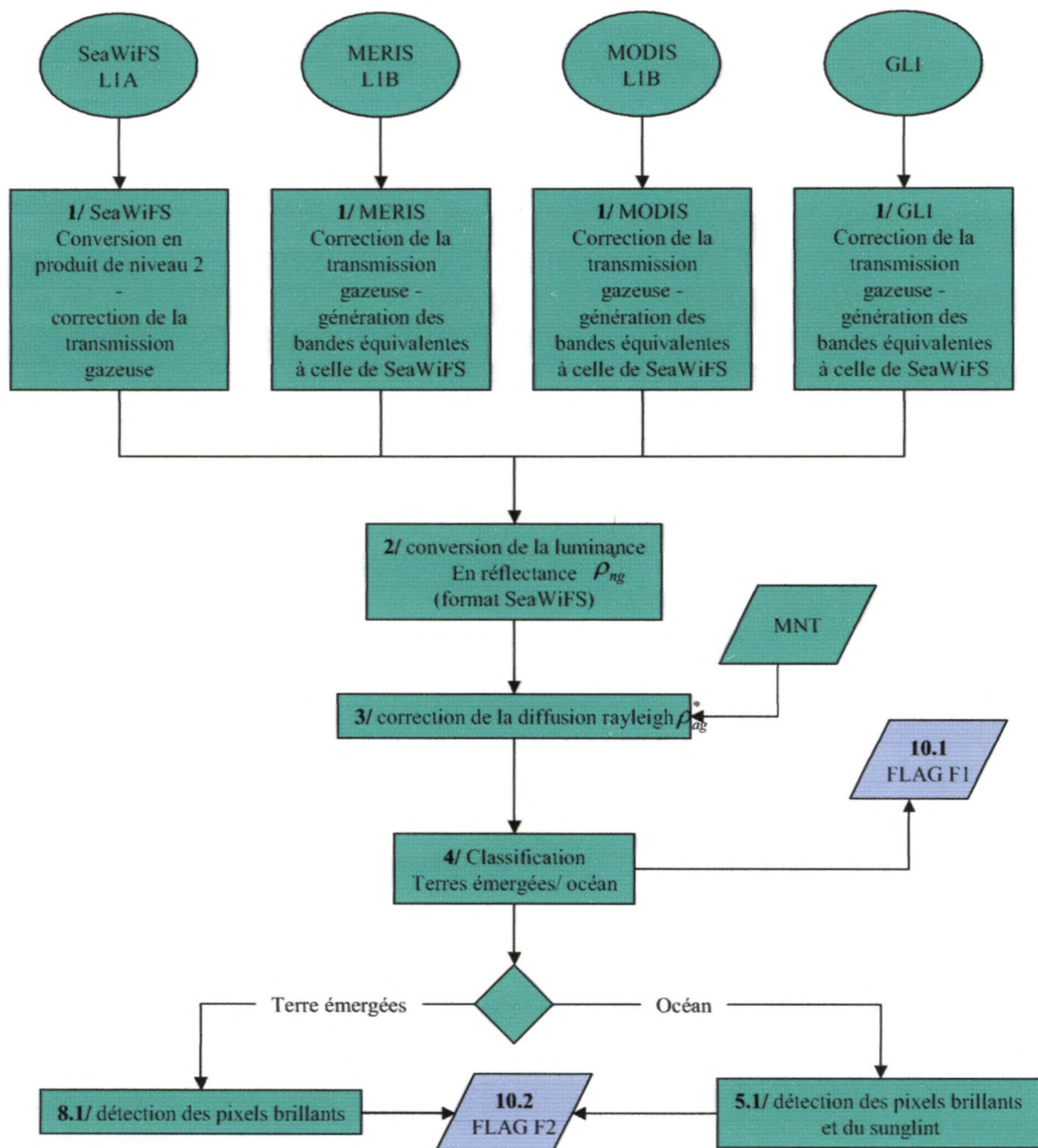


**Figure 4 :** Histogramme du nombre de journées avec ciel clair pour l'année 1999  
Zone: boulogne

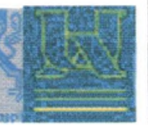




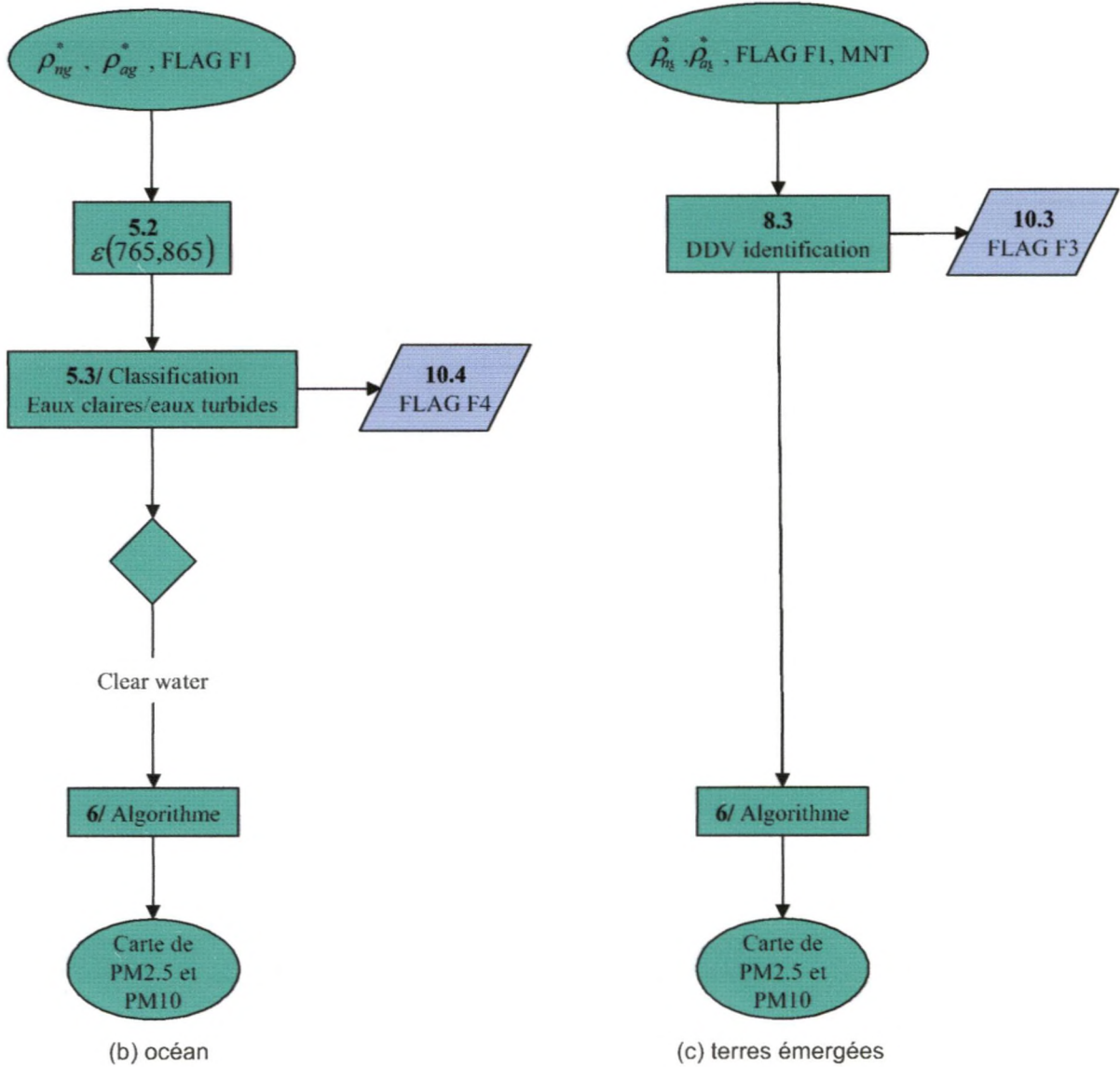
**Figure 5** : organigramme de la chaîne de traitement des images satellites pour la restitution des produits PM2.5 et PM10.



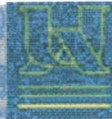
(a)



## INTERREG III-EXPER/PF

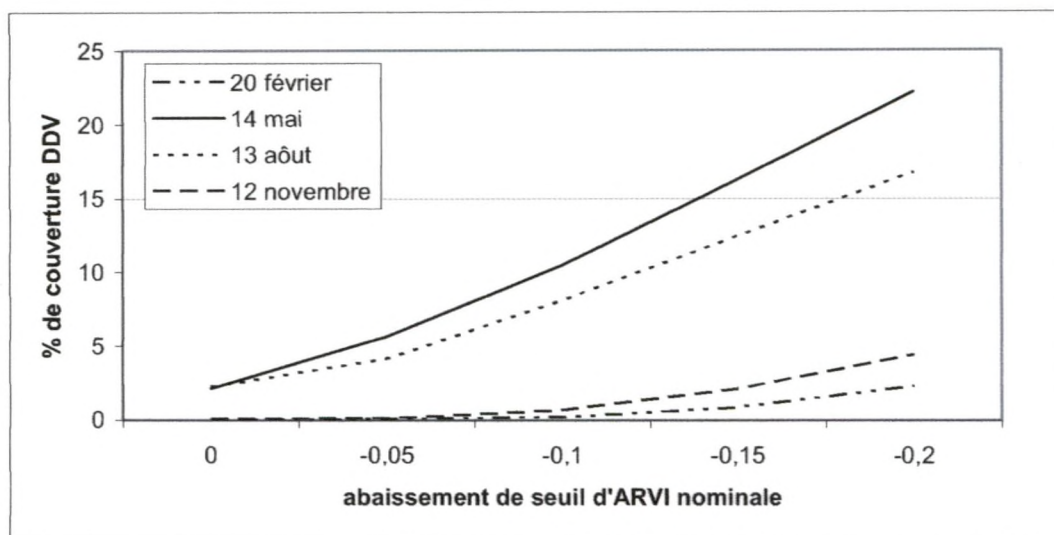






## INTERREG III-EXPER/PF

**Figure 6** : Augmentation de la couverture DDV en fonction de l'abaissement du seuil d'ARVI.



**Table 1** : Caractéristiques des différents capteurs

Satellite(s)	Instrument	Resolution [km]	Revisit time [days]	Overpass time solar time
ORBVIEU 2	SeaWiFS	1,1	~ 1	12 00
TERRA AM	MODIS	1,0	~ 1 - 2	10 30
ENVISAT	MERIS	0,25 - 1,0	~ 3	10 30
ACQUA PM	MODIS	1,0	~ 1 - 2	16 30
ADEOS	GLI	1.0	~ 1 - 2	10 30



INTERREG III-EXPER/PF

ESA EO Projects Website  
EO Proposal Information  
ID 1150

**TITLE FINE PARTICLE MASS ESTIMATION FROM ENVISAT/MERIS**  
Class CAT-1

**DURATION :** 3 years

**CATEGORY :** 1

**PRINCIPAL INVESTIGATOR**

Dr. Didier RAMON  
HYGEOS company  
Technoval, 191 rue Nicolas Appert  
59650 Villeneuve D'Ascq  
tel : +33 (0) 3 20 47 45 77  
fax : +33(0) 3 20 47 22 61  
e-mail : [d.ramon@free.fr](mailto:d.ramon@free.fr)

**CO-INVESTIGATOR**

Prof. Richard Santer  
Université du Littoral Côte d'Opale,  
Laboratoire Interdisciplinaire des Sciences de l'Environnement  
CNRS UPRES-A 8013  
32 Avenue Foch  
Wimereux, France  
Fax: +33 (0)3 21 99 64 01  
e-mail: [santer@mren2.univ-littoral.fr](mailto:santer@mren2.univ-littoral.fr)

Prof. R. Santer is the acting Director of the LISE

**EXPERIENCE**

Dr. Didier RAMON has been in charge of the development of the MERIS aerosol retrieval scheme including directional effects (*Ramon and Santer, 2001*) and the algorithm for stratospheric aerosol correction. He was also responsible of the application of atmospheric corrections over land and inland waters for MOS and is principal investigator for the application of SeaWiFS data to air quality issues (*FP 4 DGXII project ASTHMA*).

Prof. Richard SANTER is member of Science Advisory Group of MERIS and is PI in the development of atmospheric corrections over land for MERIS (*Santer et al., 1999*).

**DESCRIPTION**

**1) Introduction**

The results of scientific research on Particulate Matter (PM) over the past decade have invalidated both the assumption that episodes of high PM concentrations are

Janvier 2003

- 28 -





## INTERREG III-EXPER/PF

associated with adverse effects, and the assumption that low levels of ambient PM are without adverse effects.

Public health impacts, including deaths, hospitalisations, and increased symptoms and medication use, are associated not only with episodes of poor air quality, but with every day ambient PM concentrations. The significance of the new evidence on PM warrants a paradigm shift both in the form of the objective and in how air quality is managed.

This project aims at giving added value to MERIS aerosol products in converting them into Fine Particle Mass. The proposed approach here is to link remotely measured, vertically integrated aerosol optical data to mass measurements made by ground based monitoring networks. Numerous studies have shown the relationship between aerosol scattering and fine particles mass ( $PM_{2.5}$ ). Following a DG XII co-founded project called ASTHMA (Advanced System of Teledetection for the Healthcare Management of Asthma), we plan to merge aerosol optical quantities (mainly aerosol path reflectance derived from MERIS L1B data and L2 aerosol products) with meteorological data in order to estimate the population background exposure to PM over large areas.

### 2) On the relationship of $PM_{10}$ and $PM_{2.5}$ to aerosol optical parameters.

Fine particles dominate light scattering. Thus fine particles ( $PM_{2.5}$ ) and submicrometre particles ( $PM_{1.1}$ ) in particular are most effective in reducing visual range by scattering processes and that's why several team tried to correlate  $PM_{2.5}$  to optical parameters, horizontal visibility or scattering coefficient for example. The relationship of  $b_{scat}$ /fine mass has been shown to be  $3.1 \pm 0.2 \text{ m}^2/\text{g}$  for a number of urban and rural sites in the United States (Waggoner and Weiss, 1980). Based on the less robust relation between extinction coefficient  $b_{ext}$  and fine mass. Husar et al., 1981, used horizontal visibilities for estimation of the annual average  $PM_{2.5}$  concentration for the whole USA. Relationships between  $PM_{10}$  and optical data is less stable in space and time as optical measurements are less sensitive to the coarse fraction ( $PM_{10}-PM_{2.5}$ ) of the particles. Anyway, the present study will be at the regional scale and we are interested by long-term trends (annual), therefore we plan to one include also  $PM_{10}$ .

Backscattering signal over dark targets is closely related to the scattering efficiency of aerosols and thus aerosol path reflectance retrieved from MERIS using the backscattering technique is well adapted for linking remote sensing data and PM.

### 3) Influence of the Relative Humidity

Relative humidity RH is the main parameter that controls aerosol growth. It is therefore necessary to account for it in the derivation of  $PM_{2.5}$  from scattering data. Lots of empirical studies gives some universal correction curves for polluted and clear or marine aerosols. Typically scattering enhancement is of the order of 2 for a relative increase of the RH from 40 to 85 %. For high humidity ( $RH > 90\%$ ), the relationship becomes non linear and very sensitive to chemical composition. Nevertheless, the most sensitive aerosol to RH is the marine aerosol type which can be easily identified.

### 4) Aerosol vertical profile

This issue is somehow challenging if one deals with instantaneous measurements without any auxiliary data. At present time, no space sensor is able to give a rough aerosol vertical profile. Several experimental attempts were made with GOME or TOMS but these sensors have a very low spatial resolution and no validation has been performed for their estimation of the height of the aerosol layer. MERIS Oxygen A bands measurements could give an





## INTERREG III-EXPER/PF

indication, but it is now totally experimental. We propose here to implement two different procedures:

- 1 One shortcoming is to perform a direct calibration of  $PM_{2.5}$  from aerosol optical data. By relating aerosol path reflectance obtained over Dark Dense Vegetation in the blue and in the red or obtained over coastal/inland waters in the near infrared to ground PM monitoring networks data. Arbitrary assumptions concerning the aerosol model or vertical profile are avoided.
- 2 Follow ASTHMA methodology that was to take aerosol level 2 products (aerosol optical thickness and Angstrom coefficient) and to interpret them in terms of  $PM_{2.5}$ . Assumptions concerning the aerosol size distribution and vertical profile are needed.

### 5) System

The main tool used will be the aerosol retrieval scheme over land defined for the ENVISAT/MERIS mission (Santer et al., 1999, Ramon and Santer, 2001), tested on IRSP3/MOS images (Borde et al., 2001) and also on SeaWiFS images in the frame of the ASTHMA project.

The Study has to be performed on a regional scale (~200 km) and for a long duration in order to reduce biases and to give typical background exposure levels. The region selected should

1. Contains dark area over land
2. Be coastal
3. Have large population
4. Have a good ground PM network

Level1B data will be systematically processed and projected to give maps of the spectral aerosol path reflectance, aerosol optical thickness and aerosol Angstrom coefficient. Coincidence events with ground PM data will be selected. One part of these coincidences will form the calibrations/training data set, the remaining one the validation/test data set. A relative Humidity correction will be performed with empirical relationships but we have also the possibility to include met data into any "neural network" type retrieval procedure. At the same time we will continuously test the semi-empirical approach (Number 2)

### DATA REQUIREMENTS

The region covering South East of England, North of France and Belgium meets the points described in section 5.

North-west corner: 52N, 1W; South-east corner 49N, 6E

L1B MERIS data at full resolution, in case of conflict reduced resolution.

### REFERENCES

Ramon D. and R. Santer, Operational Remote Sensing of Aerosols over Land to Account for Directional Effects, *Applied Optics-LP*, Volume 40, Issue 18, 3060-3075., 2001

Santer R., Carrère V., Dubuisson Ph. and J.C. Roger, Atmospheric correction over land for MERIS, *Int. J. Remote Sensing*, vol. 20, no. 9, 1819-1840, 1999.





#### INTERREG III-EXPER/PF

Waggoner A.P. and R.E. Weiss, Comparison of fine particle mass concentration and light scattering in ambient aerosol, *Atmos. Environ.*, **14**, 623-626, 1980.

Husar R.B., Holloway, J.M., Poll, D.E. and Wilson, W.E., Spatial and temporal pattern of eastern U.S. haziness: a summary, *Atmos. Environ.* **15**, 1919-1928, 1981.

Borde R., D. Ramon, C. Schmechtig and R. Santer, Extension of the DDV concept to retrieve aerosol properties over land from the Modular Optoelectronic Scanner sensor, *Int. J. Remote Sensing*, submitted, 2001.



INTERREG III-EXPER/PF

## EXTENSION OF THE DDV CONCEPT TO RETRIEVE AEROSOL PROPERTIES OVER LAND FROM THE MODULAR OPTOELECTRONIC SCANNER (MOS) SENSOR.

*R. Borde, D. Ramon, C. Schmechtig and R. Santer*

ELICO, URA  
Université du Littoral Côte d'Opale,  
Maison de la Recherche en Environnement (MREN),  
62930 Wimereux, France.

### ABSTRACT

Air pollution and aerosol characteristics are of considerable interest to studies in climate change and air quality. Although the reference methodology will undoubtedly remain in-situ measurements, the synoptic view and detailed spatial coverage potentially offered by space sensors would constitute some very desirable complementary information, even if of a qualitative nature. The good retrieval of information about the atmospheric and surface characteristics necessitates an atmospheric correction step, which takes into account the effects of multiple scattering. These ones are greatly dependant on aerosol properties.

Here we address the possibility to remote sense the aerosols over land with the most part of space sensors in orbit at the present time that are imagers in the visible and the near-infrared. One popular method is to use the concept of Dark Dense Vegetation (DDV). Those dark targets in the blue and in the red allow to retrieve the spectral aerosol path radiance and then to infer the aerosol loading and size distribution once the refractive index is known. For the Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) land product algorithm, they are selected by a thresholding on Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) ( $> \sim 0.78$ ). However, as shown on Modular Optoelectronic Scanner (MOS) images acquired over western Europe, pure DDV targets are sparse ( $< 1\%$  of land pixels) and of little use for Aerosol Characterisation, at least for Europe.

This problem is tackled by extending the DDV concept to brighter targets that have a lower ARVI (down to 0.6). It is shown that these new targets have a reflectance in the red very well correlated with the ARVI and a quite constant reflectance in the blue. The idea of using now a DDV reflectance in the red dependant on the ARVI in the aerosol retrieval step is tested on several MOS images, on which an atmospheric correction algorithm similar to the one developed for MERIS is applied. The result is that aerosol optical properties are now retrieved over  $\sim 10\%$  of the land area with little loss of accuracy compared to pure DDV. The proposed ARVI-red reflectance empirical relationship also include correction for the adjacency effects that arise when a dark area is surrounded with some brighter surfaces.

### 1. INTRODUCTION

The impact of aerosol particles is considered as one of the main uncertainties in the climate modelling (International Panel of Climate Change, 1996). Indeed, atmospheric aerosol particles influence the Earth's radiation budget in two different ways. The first one, called 'direct radiative effect' refers to scattering and absorption of direct solar radiation (Penner et al., 1992; Christopher et al, 1996). The second one, called 'indirect radiative effect', refers to the change of albedo and lifetimes of clouds by aerosols (Twomey et al., 1984; Kaufman and Fraser, 1997). Following the pioneering works of Charlson et al (1992) and Penner et al.

Janvier 2003

- 32 -





## INTERREG III-EXPER/PF

(1992) many recent studies have tried to estimate these direct (Jacobson, 2001, Collins et al., 2001, Ghan et al, 2001a) and indirect (Ghan et al, 2001b) radiative forcing due to aerosol components, using general circulation models.

In another hand, when they are inhaled, small particles of tropospheric aerosols can penetrate further in the lung and cause many sort of illnesses and allergy on the human health. So, in relation with the increasing emission of anthropogenic particles in the atmosphere, understanding and estimating aerosol properties at local, regional and global scales have become these last years of a considerable interest. Satellite monitoring could achieve both the better spatial and temporal coverage necessary to study and estimate these aerosol properties, everytime, everywhere.

The retrieval of aerosol characteristics from satellite data requires well-calibrated multispectral sensors (Kaufman et al., 1995), which contain narrow spectral bands outside the water vapour absorption regions. Satellite remote sensing of aerosols over land is difficult because of the higher brightness and heterogeneity of the land surfaces. The signal reaching the satellite sensor originates from the scattering of solar light by particles in suspension and it is difficult to distinguish from the light reflected by the Earth surface. However the 'new sensors', as they are performing multi-angular measurements and/or as they have better spectral characteristics may render possible the detection and quantification of aerosols. Actually, there will be an operational 17 x 17 km aerosol product from the Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR) instrument, a 9 viewing angles instrument on the recently launched mission Terra, (Diner et al., 1989). The Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) instrument (Rast and Bezy, 1995) onboard Envisat will also provide some aerosol information (Santer et al., 1999) There are ongoing developments with Along Track Scanning Radiometer (ATSR)-2 data (Veefkind et al., 1998), presently flying on the ERS-2 satellite, with POLarization and Directionality of the Earth Reflectance (POLDER) (Deuzé et al., 2001) using polarized measurements, and with GOES 8 imager (Zhang et al., 2001) for retrieval of smoke aerosol optical thickness.

For other sensors, for the most part imagers in the visible and the near infrared, the simplest means of determining the atmospheric contribution to the satellite signal is to make an assumption about the surface reflectivity or albedo. Locations where the surface boundary condition is believed to be reasonably well understood are areas covered by Dense Dark Vegetation (DDV), (Kaufman et al., 1997, Kaufman and Sendra, 1988). Then, many atmospheric corrections over lands algorithms (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer [MODIS], MISR, MERIS) determine aerosol type and aerosol optical thickness over DDV occurrences, when the signal is mainly composed by the atmospheric part: Rayleigh and aerosols scattering and gaseous transmittance. The low reflectance of dense dark vegetation in the visible part of the spectrum is used in conjunction with an aerosol model to retrieve the optical thickness.

In this contribution a study of the possible detection of aerosols properties is proposed with the Modular Optoelectronic Scanner, (MOS), sensor (Zimmermann et al., 1993). MOS is a space borne imaging spectrometer for visible and near infrared range of optical spectra, with an additional CCD camera in short-wave infrared at 1600 nm (MOS-C) (Table 1). This instrument is especially designed for remote sensing of the atmosphere-ocean system, and because of its high spectral resolution it is especially oriented for remote sensing of coastal zone. MOS consists of two separate spectrometers with medium spatial and high spectral resolution: MOS-A measures in 4 channels in the  $O_2A$  absorption bands at 760 nm, when MOS-B measures simultaneously in 13 channels in the range from 410 to 1010 nm (Table 1). MOS was launched on March 1996 on board the Indian Remote Sensing satellite IRS\_P3 into a synchronous polar orbit at 817 km height. A MOS scene contains the

Janvier 2003

- 33 -





## INTERREG III-EXPER/PF

information of a square image of about  $200 \times 200 \text{ km}^2$ . Spatial resolution corresponds to a pixel size equal to  $1.57 \text{ km} \times 1.4 \text{ km}$  for MOS-A;  $0.52 \text{ km} \times 0.52 \text{ km}$  for MOS-B and  $0.52 \text{ km} \times 0.64 \text{ km}$  for MOS-C. Otherwise, the remote sensing payload of MOS\_IRS is sharing the satellite with a radioastronomy payload. Hence, for about three months per year the satellite is rotated for stellar orientation and no MOS data are available.

The proposed atmospheric correction over land algorithm for MOS is mainly based on the scheme developed for MERIS (Santer et al., 1999). It is based on simplified formulations of the signal in order to ease the inversion of Top Of Atmosphere (TOA) radiances. The gaseous absorption is separated from the rest. This correction requires integrated values of gas content in the atmospheric column. Ozone content is available from the climatology and devoted MOS bands make it possible to correct absorption originating from water vapor and oxygen. The Rayleigh correction is well defined and only requires knowledge of the barometric pressure. The correction for aerosol is more problematic, firstly because of their variable nature, chemical composition and abundance, and secondly because of their weak contribution to TOA radiances. Of course this contribution is emphasized over dark surfaces, and the use of the so-called DDV is generally proposed (Holben et al., 1992).

The aerosol correction is primarily based on standard aerosol models. Here the 12 models used for POLDER aerosol remote sensing over land (Deschamps et al., 1994). Reference to the aerosol climatology is then made to set the aerosol refractive index. Remaining aerosol optical thickness and slope of the Junge size distribution are determined from specific observations over DDV. The detection of DDV then constitutes a key step in the atmospheric correction process. DDV pixels are detected using a spectral index: the ARVI, (Kaufman and Tanré, 1992) that is more resistant to atmospheric effects than the currently used Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Tucker, 1979). A pixel is flagged as DDV when its ARVI is greater than an ARVI threshold, which is extracted from a precalculated Look Up Tables (LUT), as a function of DDV model (defined with the geographical location, seasons) for the geometrical conditions of observation. Standard values for DDV reflectances at 408 nm, 443 nm and 615 nm are proposed in order to retrieve MOS reflectances using the proper aerosol model.

The paper addresses several issues that were not dealt in the original paper of Santer et al. (1999) due to the lack of real images. We review first the way MERIS algorithm has been adapted for MOS. Then we study the robustness of the ARVI thresholding method for the DDV detection. For example we show how to exclude anomalous bright pixels and cloud shadows from the DDV classification. Unfortunately, once properly selected, DDV pixels are sparse and represent no more than  $\sim 1\%$  of the total land area for Europe. The second part of the paper is an attempt to tackle this strong limitation. The DDV concept is extended to brighter surfaces (and lower ARVI) with a little loss of accuracy on the aerosol product. Empirical correction factor for the red reflectance of the extended-DDV allows also to correct for the adjacency effects.

## 2. THE MODULES OF THE ATMOSPHERIC CORRECTION SCHEME

The main objective of the atmospheric correction scheme is to provide the surface reflectances for all of the MOS bands, except for those that are specifically devoted to the retrieval of gaseous abundance: MOS A and the water vapour band at 945 nm. Because the correction from the aerosol is questionable, we wished to provide the user with an easy way to retrieve the reflectance above the surface+aerosol system from available attached





## INTERREG III-EXPER/PF

informations. Informations required for the algorithm are also attached as a product: surface pressure, aerosol type and abundance.

The photons, which enter the sensor, have different origins and a 6S-like signal decomposition is proposed (Vermote et al., 1995) in an attempt to formulate the different contributions in the simplest way:

- (i) the Rayleigh scattering,
- (ii) the aerosol scattering,
- (iii) the absorption by gases,
- (iv) the contribution of the surface, which depends directly on its reflectance that is the useful component.

General principle of atmospheric correction process for MOS is mainly based on the scheme developed for MERIS (Santer et al., 1999, Ramon and Santer, 2001), Figure 1. The first step is applied to the top of atmosphere (TOA) reflectance for the correction of gaseous transmission, especially ozone and water vapour in the case of MOS sensor.  $\rho_{ng}$  is the reflectance signal ignoring the gaseous absorption and  $T_g$  the gaseous transmittance, which can be evaluated from simulations of radiative transfer model.

The second correction is done for the Rayleigh molecular scattering effect. Schematically, the remaining signal  $\rho_{ng}$  is both constituted by a Rayleigh part  $\rho_R$  and an aerosol+ground part  $T_R \cdot \rho_{ag}$ , where  $T_R$  is the Rayleigh transmittance and  $\rho_{ag}$  the signal of both aerosol layer and ground surface.  $T_R$  and  $\rho_R$  are evaluated from simulations of radiative transfer model, as a function of the surface pressure (so is the spherical albedo  $S_R$ , on which depends the estimation of  $\rho_{ng}$ ), and the geometrical conditions. Surface pressure and thus Rayleigh vertical optical thickness is derived from the MOS A oxygen absorption bands data. Therefore atmospheric corrections are applied to MOS B channels only where MOS A and B overlap. The remaining pixels are flagged invalid.

For the correction of the signal of the aerosol impact, knowledge of aerosol type and aerosol optical thickness are needed. The aerosol type is determined over DDV pixels, where the ground reflectance is supposed to be known. Applying the same principle than above, and knowing the aerosol reflectance  $\rho_a$  and aerosol transmittance  $T_a$  from simulations of radiative transfer model, the ground surface reflectance  $\rho_g$  can be easily calculated from the formula:

$$\rho_{ag} = \rho_a + T_a(\mu_s) \frac{\rho_g}{1 - \rho_g S_a} T_a(\mu_v) \quad (1)$$

where  $\rho_a$ ,  $T_a$  and  $S_a$  are respectively the intrinsic reflectance, the transmittance and the spherical albedo relative to the aerosols,  $\rho_{ag}$  the aerosol-ground contribution and  $\rho_g$  is the surface reflectance.

From the blue and red top of aerosol reflectances, we can just expect to derive two informations on the aerosol model such as the abundance on the atmospheric column, (or the optical thickness) and a parameter for the size distribution. Due to poor knowledge of aerosols, the simplest but realistic description for the size distribution by a power law is assumed:

$$n(r) = r^{\alpha-3} \quad (2)$$





## INTERREG III-EXPER/PF

where the Angström coefficient  $\alpha$ , (Junge, 1963), describes the wavelength dependency ( $\lambda$ ) of the aerosol optical thickness  $\tau_a$ :

$$\frac{\tau_a(\lambda)}{\tau_a(\lambda')} = \left(\frac{\lambda}{\lambda'}\right)^{-\alpha} \quad (3)$$

For MOS atmospheric correction process, 12 aerosol models were considered for the building of the aerosol scattering function Look Up Tables. They are defined by 4 values of  $\alpha$  (0.0, 0.5, 1.0, and 1.5) and 3 values for the real part of the refractive index  $m$  (1.33, 1.44 and 1.55). The value  $\alpha=0$  corresponds to large particles such as Saharan dust over arid region (Tanré et al., 1988; Holben et al., 1991), and great values of  $\alpha$  correspond to small particles such as smoke particles (Kaufman et al., 1992; Holben et al., 1991).

These models are close to those proposed for the POLDER ground segment, which will probably be used for MERIS aerosol climatology database. Assuming a Junge power law, the phase matrix does not depend on wavelength, and the main parameter is the phase function. We generated phase functions into LUTs for the 12 aerosols models and 83 scattering angles. Thus, for a given aerosol model, we just need to model the dependence in  $\tau_a$ . The computation of the aerosol reflectance is based on the same idea as the Rayleigh reflectance, e.g. de-coupling primary and multiple scattering and use of a Fourier series expansion. The total transmission  $T_a$ , for the direct to direct path, is equal to  $T_a(\mu_s)$ .  $T_a(\mu_v)$ . For each aerosol model, we can extract  $T_a(\mu)$  from LUT's built with 6S radiative transfer code, for 12 zenith angles and 15 values of  $\tau_a$ .

One shall notice that the aerosol Angström coefficient is retrieved with an accuracy of 0.5. All sensitivity tests shown hereafter have been done for aerosol refractive index of 1.44 and thus aerosol output model are labelled from 5 to 8 ( $\alpha = 0.0 \rightarrow 1.5$  by step of 0.5).

## 3 AEROSOL REMOTE SENSING OVER DDV

### 3.1 Identification of the DDV

The usual strategy for the remote sensing of aerosol over land is based on the use of dark targets (Kaufman et al., 1997, Kaufman and Sendra, 1988). This strategy derived from the following two physical principles:

- The aerosol effect on the radiance measured from space quickly decreases with the wavelength (Kaufman, 1993). The effect of the aerosol is then much smaller in the mid-IR than in the visible.

- The radiative effect of the aerosol includes backscattering and absorption of the direct sunlight and sunlight reflected from the surface. For dark surfaces, the scattering effect dominates, and the aerosol radiative effect is then strongest than over bright surfaces. Therefore, the remote sensing of aerosol over dark targets can give better results. At first, the aerosol retrieval over dark target was based on the detection of green forests (dark pixels) using the Normalized Difference Vegetation Index NDVI (Tucker, 1979) and the near-IR reflectance. The dark vegetation was determined by high values of NDVI with low reflectance in the near-IR.

For MOS sensor, the proposed aerosol remote sensing is also performed over DDV. Dark Dense Vegetation is dark in the spectral bands where the chlorophyll absorption is strong. For MOS, they correspond to bands 408, 412 and 615 nm. The second property of the DDV is related to the structure of the canopy: at a microscopic scale, the light is partially reflected. This Fresnel reflection is quite white. The structure of a DDV canopy is such that the reflected light is trapped for most of the view directions except in the anti-specular direction (so-called hot-spot). These two properties lead to two possibilities for identifying

Janvier 2003

- 36 -





## INTERREG III-EXPER/PF

DDV pixels: the use of an index based on the spectral behaviour of the reflectance, and the use of a threshold on the surface reflectance in the middle infrared channels where DDV appears dark and atmospheric effects are low (Vermote et al., 1994; Roger et al., 1994). We will focus here on the possibility to detect the DDV surfaces based on ARVI (Kaufman and Tanré, 1992), which uses the channels at 470, 660 and 865 nm. The advantage of this option

is that it does not require any ancillary data. The ARVI was initially proposed and developed to be used for the remote sensing of vegetation from MODIS sensor (Salomonson et al., 1989; King et al., 1992; Kaufman et al., 1996). It is generally four times less sensitive to atmospheric effects than the currently used NDVI (Kaufman and Tanré, 1992). This resistance is accomplished by a self-correction process for the atmospheric effects on the red channel, using the difference in the radiances between blue and the red channel to correct the radiance of the red channel.

The ARVI is defined as follows:

$$ARVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{rb}}{\rho_{NIR} + \rho_{rb}} \quad (4)$$

With

$$\rho_{rb} = \rho_r - \gamma(\rho_b - \rho_r) \quad (5)$$

where  $\rho_b$ ,  $\rho_r$  and  $\rho_{NIR}$  are reflectances, corrected for molecular scattering and gaseous absorption, observed respectively in the blue, red and near-infrared channels (for MOS, 443nm, 615nm and 890nm). The MOS band at 650 nm was excluded because of non-lineary problems suspected over dark surfaces such as water. A value of  $\gamma$  close to 1.3 corresponds to dark dense forests (Santer et al., 1999).

A pixel is identified as dark vegetation when its ARVI is greater than an ARVI threshold. The thresholds are computed versus geolocation and geometry for a set of DDV BRDF models described in the next section. It is also assumed that the aerosol are continental and the horizontal visibility is 23 km.

### 3.2 The DDV models

Once DDV surfaces are identified, we can retrieve aerosol properties assuming a standard value for the DDV reflectance at  $\lambda = 408, 443$  and  $615$  nm where the spectral reflectance is the lowest. We use the DDV models proposed by Leroy et al. (1998) from POLDER data, Table 2. During January and June 1997, the clearest days have been selected using the POLDER aerosol product. Because the aerosol loading was small, the classical NDVI has been initially used to identify DDV occurrences. The viewing capabilities of POLDER allow covering 12 view angles and the sun zenith angle varies along track. A canopy transfer model is used to fit the data and allows extending the determination of the bi-directional reflectances to a large range of angles. The latter study gives DDV reflectances LUTs at  $\lambda = 408, 443, 615$  and  $890$  nm versus the solar angle, for the standard models listed in Table 2. Figure 2 reports DDV reflectances at  $443$  nm and  $615$  nm observed at nadir versus the sun zenith angle, for a winter mid-latitude DDV model (solid line) and a summer mid-latitude DDV model (dashed line), respectively. DDV reflectances over Europe present small seasonal variations. The hot spot corresponds to small sun zenith angle and the reflectances are as expected larger in the red compared to the blue because of different values of the chlorophyll absorption.





The ARVI threshold has been pre-computed in LUTs for each DDV model as a function of the sun zenith angle. In these computations, both aerosol model and loading were fixed. It was a standard continental model ( $\alpha=1$ ,  $m=1.44$ ) with an optical thickness of 0.25 at 550 nm. Figure 3 shows the influence of aerosol abundance on the ARVI, as a function of the sun zenith angle. Despite of its self-correction to atmospheric effect, the ARVI can vary of about 0.1 when the aerosol optical thickness varies from 0. to 0.8. These variations are generally not critical, but they become larger for low solar elevations (sun zenith angle  $> 60^\circ$ ) and may

render the detection of dark dense vegetation difficult for extreme geometrical or atmospherical conditions.

The value of  $\gamma$  in equation 5 is not specified a priori, and it mainly depends on the aerosol type (Kaufman and Tanré, 1992). The degree of resistance of the ARVI to atmospheric effects depends on the success in finding a single value of  $\gamma$  that reduces the atmospheric effects significantly at global scale. In the next paragraph we will discuss the impact of this coefficient for various aerosol type and several aerosol optical thicknesses. The influence of the parameter  $\gamma$  is then illustrated in figure 4 for a nadir view and a sun zenith angle of 44 degrees. The aerosol refractive index was set to 1.44 and the influence of the aerosol size distribution was only evaluated through the Angström coefficient. As shown on the two upper graphs of figure 4, the value of  $\gamma$  does not greatly influence the variation of the ARVI as a function of the aerosol optical thickness for large particles ( $\alpha$  close to 0). This was already noticed and explained by Kaufman and Tanré, 1992. Hence, the ARVI is not expected to be much better than the NDVI ( $\gamma=0$ ) for large dust particles. In such case, we cannot consider that the value of  $\gamma = 1.3$  is optimum to reduce the sensitivity of the ARVI to the aerosol optical thickness. All values of  $\gamma$  have more or less the same impact. For other aerosol types, the aerosol optical thickness is mainly wavelength dependent (see equation 3):  $\tau_a = C\lambda^{-\alpha}$ , where  $\alpha$  is greater than 1. For the case of  $\alpha=1.5$  (lower right), a value of  $\gamma$  close to 1.3 greatly reduces the sensitivity of the ARVI to the aerosol optical thickness. As expected, non-presented parallel computations indicate that the ARVI is more robust to the aerosol model and atmospheric effects than the NDVI. As a conclusion on the selection mode of DDV using ARVI, we can certainly accept the criterion  $\gamma = 1.3$  as a first guess if we accept a large uncertainty on the threshold. It greatly reduces the sensitivity to atmospheric effects for small particles, and has not effects for large dust ones.

### 3.3 Retrieval of the aerosol model

The flow chart for the aerosol remote sensing module is summarised in the figure 5. Knowing the latitude, the longitude and the time of overpass, the process starts with the reading of required auxiliary data: selection of a refractive index for the aerosols from the climatology, identification of the standard DDV model and associated DDV reflectances  $\rho_{DDV}$  at 408, 443, 615 from LUT. After corrections of the gaseous transmission and Rayleigh scattering, we select the DDV pixels. If the ARVI of a pixel is greater than the threshold, the pixel is identified as DDV. Aerosol corrections have been done on  $64 \times 128$  pixels sub-windows, where the aerosol model and the aerosol optical thickness are assumed spatially homogeneous. If there are less than 64 DDV pixels in a  $64 \times 128$  sub-window, the aerosol model is taken from the climatology. We read atmospheric functions  $\rho_a$ ,  $T_a$ ,  $S_a$ , for the considered aerosol models. For each DDV pixel, the top of aerosol reflectance is computed according to a 5S-like formulation of the signal (Vermote et al., 1995). The top of aerosol reflectance depends solely on  $\tau_a$  and  $\rho_{DDV}$ . For the 16 aerosol models corresponding to 16





Angström coefficients from 0 to 1.5, we loop on  $\tau_a$  to retrieve the top of aerosols reflectances in the DDV pixels. A spatial average of the aerosol optical thicknesses at 408, 443, 615 nm retrieved for each model is done. Finally, the model for which the Angström coefficient is the closest to the one obtained from the  $\tau_a$  retrieval is chosen. The aerosol outputs of the algorithm are the optical thickness at 550 nm, the refractive index assumed from the climatology and the Angström coefficient which is linked to the slope of the Junge size distribution. For more detailed informations about the remote sensing of aerosol over land from MOS see: Santer et al., 1999 and Ramon and Santer, 2001. The validation of the algorithm products has also been done, (Schmechtig et al., 2001), comparing retrieved

aerosol products with in situ sunphotometer measurements of the Aerosol Robotic NETwork (AERONET) (Holben et al., 1998).

## 4 APPLYING THE AEROSOL REMOTE SENSING MODULE ON MOS IMAGES

### 4.1 Detection of DDV pixels with the ARVI.

We started by a time series of MOS images acquired over the South West of France. In the case of the scene viewed the 17/9/1997 (see the image in the near infrared in figure 7a), the ARVI threshold extracted from the LUT is near 0.8. Many type of vegetation may be potentially detected over south west of France at the beginning of September: forests over Pyrenean mountains, pine forest near the ocean, maiz, etc. However, only around 1000 DDV pixels are identified on the scene. It is less than 1% of the total land cover (see figure 6 at the top). Green pixels correspond to DDV situations, red areas represent land pixels and bright pixels, and large orange bands on the edges of the image correspond to pixels for which no further processing has been made due to non overlapping of MOS A and B and consequently no information about the surface pressure. The track of the MOS image is limited on the background map by a black square. The navigation of MOS image is not accurate and is given here as general information. It is the same for the topographic contours of the map. DDV pixels are clustered in two different zones, one very small at the top right and one large along the Pyrenean chain. In term of aerosol correction, only 6 64\*128 sub-windows are processed over a total number of 18 for the scene. The window size of 64\*128 pixels was defined according to different criteria for MERIS (Santer et al.). For the geometrical conditions, 64 pixels correspond in a variation of the view angle of 0.5° while the solar zenith angle typically varies by 0.8° on 128 pixels. These small angular variations allow to believe the atmospheric functions (reflectance and transmittance) do not vary much within the window. Finally, the size of the window is a compromise between the need to find a significant number of DDV pixels and the assumption on the spatial homogeneity of the aerosols if we want to smooth the aerosol product (at least on  $\alpha$ ). The significant number of DDV is assumed empirically to be 64. For other sub-windows, there is a need to get aerosol optical properties from the climatology. To limit such use of the climatology for remote sensing of the aerosols, we suggest to decrease the value of the ARVI threshold. Figure 6b shows the result of an extended DDV selection criterion. The ARVI thresholds are decreased by a constant value of 0.15. Now around 10% of the land surface is detected and 5 new sub-windows contain more 64 DDV pixels, the minimum number to perform an aerosol characterisation. In order to avoid bright pixels to be included in the extended DDV class as ARVI decrease, we exclude from DDV all pixels that are brighter or darker than the mean blue reflectance corrected from Rayleigh  $\pm$  one standard deviation. On Figures 6b, it correspond to the yellow color. This criterion is applied for each sub-window. The same conclusions were drawn after processing more than 30 images acquired over western





Europe from 1996 until 1999. Pure DDV, whose reflectivity is very low and reproducible is rare. This concept is useful in establishing a reference for dark targets but can't be used for operational aerosol remote sensing. One has to search for other targets, of course less dark, in order to reach a sufficient spatial cover of the aerosol product. The main task is to ensure that those targets do have a predictable surface reflectance in the blue and in the red.

Let us filter first some pixels for which an artefact is responsible of a high ARVI.

#### **4.2 Separation of DDV from cloud shadows.**

Figures 7 shows histograms of Top Of Atmosphere reflectances in channels at 408, 443, 615 and 890 nm for pixels, which are identified as DDV on these two MOS scenes.

First, DDV pixels are detected in clear sky condition over south west of France (figure 7a), they correspond to real DDV situations. Second, high ARVI pixels are located into the shadow of the cloud (figure 7b). They should be absolutely excluded for any further processing as their reflectance is unknown and variable. The main difference between these two panels of pixels is the top of atmosphere reflectance at 865 nm. DDV is bright in the NIR. Atmospheric path reflectance and diffuse ground irradiance is low in the NIR. Therefore, in cloud shadows where the main irradiance source is the solar direct sunbeam, TOA reflectance at 865 nm dramatically falls down in shadows whereas the effect is less pronounced for other wavelengths. A clear and simple criterion for DDV / cloud separation is to cut pixels whose TOA reflectance is lower than 0.2 at 865 nm. This threshold value has been set up empirically from the visual inspection of the DDV removal in the cloud shadows. Moreover one shall notice that cloud border pixels in general are not well suited for inversion since it can be the place of stray light problem and/or adjacency effects. It may explain the high TOA reflectances in the blue observed for figure 7b.

#### **4.3 Variations of the aerosol products as a function of the ARVI threshold.**

For a given target, the ARVI varies slightly with the atmospheric turbidity as well as with the aerosol type. Nevertheless, it is controlled mainly by the ground spectral properties and it is precisely for that reason that the ARVI was created. By selecting pixels with an ARVI down to 0.6 we are expecting to get back pixels whose reflectances in the reference channels (408 nm, 443 nm and 615 nm) become more and more scattered around a mean reflectance different from those of pure DDV. It should lead to a wrong assessment of the aerosol spectral reflectance. Thus there must be an effect on both the estimation of the aerosol amount and the selection of the aerosol model.

We investigated these effects by plotting the outputs of the aerosol inversion scheme as a function of the ARVI on figure 8. The aerosol optical thicknesses at 550 nm were successively evaluated from DDV pixels contained in an interval of  $\pm 0.01$  around the ARVI threshold value. This quantity is expressed as a function of the ARVI thresholds, and presented for 3 various scenes viewed over south west of France, respectively the 2/9/1996, the 7/9/1996 and the 17/9/1997. Each curves correspond to a 64\*128 pixels sub-window that contained more than 64 DDV pixels. The labels along the axis describing the aerosol model (Aerosol Model number 5, 6, 7, 8) correspond to a refractive index equal to 1.44 and to an Angström coefficient of 0., 0.5, 1.0, 1.5 respectively.

The general trend is an overestimation of the aerosol amount with a decreasing ARVI. It just reflects the fact that pure DDV pixels, as selected with a high ARVI threshold (around 0.8), are actually most of the time the darkest targets of the scene. For a very small number of sub-windows, it is not true (one on 2/9/97).





A second general trend is that the aerosol model retrieved is more and more a white model (model 5) as the ARVI decreases. The bias induced by brighter surfaces is wavelength dependent. So it seems that the optical thickness retrieved in the red is more overestimated than in the blue and that disturbs the estimation of the Angström coefficient. One shall notice that this second general trend is verified everywhere.

## 5 IMPROVING THE AEROSOL REMOTE SENSING MODULE

### 5.1 Variation of the DDV reflectance at 615 nm with the ARVI

Hence, the aerosol product varies when the ARVI threshold is decreasing, indicating that the surface reflectance increases. If we want to include more pixels of DDV for aerosol remote

sensing, we need first to understand the relationships between the DDV reflectances and the ARVI.

For this purpose an aerosol correction has been applied on previous images in order to get the surface reflectance. This step requires the knowledge of both the aerosol amount and the aerosol model. The methodology was here to select pixels with the highest ARVI in order to reduce as much as possible errors on aerosol optical properties and thus to get the most accurate surface reflectances in the blue and in the red. The correction has been done on sub-windows with more than 64 pure DDV pixels. Figure 9a shows that the corrected surface reflectances at 615 nm vary linearly as a function of the ARVI, for reflectances values lesser than 0.1. In the blue (figure 9b), the dependency is very weak and is hard to model. Around an ARVI value of 0.8 we obtain a red reflectance of near 0.02 that is quite close to the theoretical value used in the LUT and reproduced on figure 2.

Now we face the question of how to take into account the spectral dependency of extended DDV reflectance for the aerosol remote sensing. A good first approximation is to take the blue reflectance as a constant. A second one is to model the red reflectance as a linear increase of the pure DDV reflectance ( $\rho_{DDV}^{615}$ ) as a function of the departure of the actual ARVI ( $ARVI_{DDV}$ ) from pure DDV  $ARVI_{extended}$ . It is expressed as:

$$\begin{aligned} \rho_{extended}^{615} &= \rho_{DDV}^{615} - \chi(ARVI_{extended} - ARVI_{DDV}) & \text{if } ARVI_{extended} < ARVI_{DDV} \\ \rho_{extended}^{615} &= \rho_{DDV}^{615} & \text{if } ARVI_{extended} \geq ARVI_{DDV} \end{aligned} \quad (6)$$

What are the physical basis of equations (6) ? For high ARVI, above the nominal threshold, the chlorophyll absorption is supposed to be high enough to saturate the reflectance. Because the chlorophyll absorption is higher in the blue compared to the red, the reflectance in the blue remains quite constant when the ARVI decreases. Conversely,  $\chi$  describes the increase of the vegetation reflectance in the red when the vegetation is less dense or less green. Figure 9a illustrates this variation of  $\rho$  versus ARVI which is quite linear with a slope  $\chi$ . The goal of this paper is to propose to extend the DDV concept to less dark vegetation and the  $\chi$  value we derived from figure 9a is more illustrative than operational.

The quality of the red reflectance controls directly the quality of the whole aerosol inversion. The aerosol model is chosen from the slope of the power law spectral dependence of the aerosol optical thickness. This slope is calculated with the three reference channels, 408, 443 and 615 nm. As the two first wavelengths are really closed, the slope is then essentially derived from the channel at 615 nm. The Equation 6 shape is the same for the whole image set we processed for Western Europe. Moreover the slope  $\chi$  varies little. It is convenient to





## INTERREG III-EXPER/PF

use equation 6 with fixed parameters in order to avoid any first aerosol correction. We suggest using a universal relationship with a predefined  $\chi$  and DDV reflectances and ARVI thresholds already stored in LUT.

Figure 10 is the same as figure 8 except that now the red reflectance was corrected according to equation 6. The improvement is obvious both for the optical thicknesses and aerosol model. The robustness of the aerosol model determination is well demonstrated. Indeed it is the less spatially varying quantity and within one 64\*128 sub-window it should be quite stable whatever the number of pixels over which it has been retrieved. This is also certainly true for the optical thicknesses, but sometimes some patterns with decreasing optical thickness with ARVI still exists for few sub-windows. This happens for the same zones as explained for figure 8.

Some inhomogeneities of the optical thickness within one scene subsist but it appears to be somehow physical. On figure 11 is shown the NDVI map built with corrected surface reflectances for extended DDV pixels. The retrieved aerosol optical thickness at 550 nm for

every sub-window is also shown. There is no evidence of spatial correlation between these two quantities as one could have expected if the estimation of the extended red reflectance with equation 6 was biased. The general spatial pattern is a westerly aerosol gradient whereas extended DDV with high and low NDVI is present from east to west.

### 5.2 Adjacency effects

Another argument for the extension of the DDV concept can be illustrated with adjacency effects. The importance of such effects in aerosol remote sensing have been recently re-investigated (Santer and Schmechtig, 2000; Lyapustin and Kaufman, 2001). As we have seen, over Europe, DDV is sparse and the size of DDV areas quite small. As an illustration, the figure 12 presents the pixel identification of a MOS image (200 km x 200 km) acquired over the south west of France on 14/08/97 when the ARVI thresholds are decreased by a constant value of 0.15. Histograms of reflectance for the whole image and for DDV spots, indicate that in the blue the full image is quite dark (figure 13a) and that in the red (figure 13b), there is a strong contrast between DDV and its surroundings. In the near-infrared, DDV does not appear brighter than other pixels. In such conditions, the satellite signal over DDV may be affected by contributions of the surrounding resulting from coupling between surface reflection and atmospheric scattering, that is to say adjacency effect.

To illustrate the impact of this adjacency effect, we selected on our scene a 11x11 pixel window for which we displayed the ARVI (figure 14). The adjacency effect increases towards the blue bands with the increase of the scattering process. But, in the blue, the vegetation remains as dark as for regular DDV because of the strong absorption of the chlorophyll. The main phenomenon is that, the adjacency effects increases with the contrast and is then maximum in the red where the DDV and the land pixels are very contrasted. Then, the edge of the target is artificially brighter than the center particularly in the red band. As a consequence, we can see that from the center of the DDV target to the edge, the ARVI decreases. In the same way, it increases the aerosol optical thickness. It also impacts on the Angström coefficient, as this effect is more important in the red than in the blue.

The aerosol model is defined on a 64x128 pixels window, after averaging the aerosol model on the DDV pixel retrieval, to perform the atmospheric correction. A correction of the adjacency effect is feasible in principle knowing, after this first run, the aerosol model and the

Janvier 2003

- 42 -





## INTERREG III-EXPER/PF

surface reflectance. Nevertheless, this correction is by far too time consuming. To handle the increase of the reflectance in the red band, a linear dependence of the DDV reflectance with the ARVI is assumed after a first iteration in the atmospheric correction scheme. The suggested improvement of the algorithm, in order to include more DDV pixels, is based on a dependence of the dark pixel reflectance in the red with the ARVI. Fortunately, the pixels contaminated by the adjacency effects have the same behaviour and then are naturally welcome in the updated scheme. In the new algorithm by an artificial decrease of the retrieved DDV reflectance in the red, the adjacency effects are counter-balanced.

## 6. CONCLUSION

Proposed atmospheric correction over land algorithm for MOS is mainly based on the scheme before suggested for MERIS (Santer et al., 1999). Accounting of closer spectral and spatial characteristics of MOS and MERIS, this study constitutes a test of the algorithm suggested for the treatment of MERIS data over land. Atmospheric correction scheme is based on a simple but robust modelling of the signal with the signal decomposition proposed in 5S as a starting point. The crucial step of the detection of DDV pixels with the ARVI vegetation index was more precisely studied in this paper. The ARVI was preferred to the currently used NDVI due to its better resistance to atmospheric effects. However, we showed in this study that the ARVI is remaining greatly dependent of the aerosol type. A large inaccuracy on the detection of DDV events may induce large errors in the remote sensing of aerosol characteristics. Especially, the choice of the aerosol model, determined by calculation of the Angström coefficient from DDV reflectances, appears as a crucial step. Processing MOS data, we have been noted that some pixels identified as DDV events due to their great value of ARVI do not really correspond to dark vegetation occurrences. We then proposed the use of a filter test in the red channels to separate real DDV events from cloud shadows and another test in the blue channel to remove DDV pixels too polluted by adjacency effects.

Moreover, in most cases of MOS scenes, the great value of the ARVI threshold estimated from the LUTs does not permit to identify lots of DDV pixels. Aerosol correction for MOS scenes is done in all  $64 \times 128$  pixels sub-windows where more than 64 DDV events were detected. If few DDV pixels are identified in the sub-window, the aerosol products are given by the climatology. To limit the use of the climatology we suggested to decrease the value of the ARVI threshold. That ensures to detect lots of DDV events in all MOS scenes. The use of a relationship between the corrected reflectance of the DDV at 615 nm and the ARVI permits to retrieve the aerosol model directly from MOS observations, and then to limit the errors due to assumptions of precalculated LUT. As pointed out in the text, the band at 615 nm has a crucial importance for the determination of the aerosol model, and then for the calculation of the aerosol optical thickness.

The extension of the DDV concept to less dark vegetation greatly improves the spatial coverage of the aerosol product. The main consequence is that, for each pixel, we have in a close neighborhood pixels for which the aerosol model is known. It is then feasible to include the aerosols in an atmospheric correction scheme. If we now consider the aerosol product itself, we can expect to have a suitable spatio-temporal coverage for global studies. For local studies, we will just have the rural background complementary to the data collected from the ground in the urban networks.

Sensitivity tests on MOS observations have been verified the robustness of this method to aerosol type and aerosol optical thickness. A validation phase of the algorithm has also been

Janvier 2003





## INTERREG III-EXPER/PF

done comparing retrieved aerosol products with in situ sunphotometer measurements of the AERONET network (Holben et al., 1998), as described by Schmechtig et al., 2001.

Even if the present algorithm has been validated, some improvements are foreseen:

- (i) The range of  $\alpha$  will be extended to 2.5 to account for small particles generations. A step of  $\Delta\alpha = 0.1$  improves the results as indicated by Ramon and Santer (2000).
- (ii) An interactive algorithm can be defined after a first round with the nominal algorithm. The ARVI computation can be improved taking into account of the variation of  $\gamma$  with  $\alpha$  (see Figure 4). The ARVI thresholds are computed from the DDV standard reflectance values using a standard aerosol model. Knowing the aerosol model will then improve the ARVI threshold and directly impacts on the DDV pixel classification as well as on the extended DDV reflectance in the red.
- (iii) The relationship between the reflectance in the red and the ARVI should be improved through the processing of a larger number of MOS scenes, mainly for the clearest days. Also, if ground-based aerosol characterizations of aerosols are available, a better determination of  $\chi$  should be achieved thanks to the access to more accurate values of the surface reflectances as well as of the ARVI.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Authors wish to thank the Deutsches Luft und Raumfahrt (DLR) for providing MOS images used in this study. We are also grateful to David Desailly for his extensive computing support. This work has been partially funded by the European Space Agency, ESRIN, in the framework of ENVISAT/MERIS ground segment development.

## REFERENCES

- Charlson R.J., S.E. Schwartz, J.M. Hales, R.D. Cess, J.J.A. Coakley, J.E. Hansen, and D.J. Hofmann, 1992, Climate forcing by anthropogenic aerosols, *Science*, 255, 423-430
- Collins, William D., Rasch, Phillip J., Eaton, Brian E., Khattatov, Boris V., Lamarque, Jean-Francois, Zender, Charles S., 2001, Simulating aerosols using a chemical transport model with assimilation of satellite aerosol retrievals: Methodology for INDOEX, *J. Geophys. Res.* Vol. 106, No. D7, p. 7313-7336.
- Cristopher, S.A., D. V. Liche, J. Chou, and R.M. Welch, 1996, First estimates of the radiative forcing of aerosols generated from biomass burning using satellite data, *J. Geophys. Res.* Vol. 101, No. D7, p. 21,265-21,273
- Deschamps, P.Y., F.M. Breon, M. Leroy, A. Podaire, A. Bricaud, J.C. Buriez and G. Seze, 1994, The POLDER Mission: Instrument characteristics and Scientific Objectives. *IEEE Trans. on Geosci. Remote Sensing* vol. 32, No 3, pp. 598-615.
- Deuzé, J. L. ; Bréon, F. M. ; Devaux, C. ; Goloub, P. ; Herman, M. ; Lafrance, B. ; Maignan, F. ; Marchand, A. ; Nadal, F. ; Perry, G. ; Tanré, D., 2001, Remote sensing of aerosols over land surfaces from POLDER-ADEOS-1 polarized measurements, *J. Geophys. Res.* Vol. 106, No. D5, p. 4913-4926
- Diner, D.J., C.J. Bruegge, J.V. Martonchik, T.P. Ackerman, R. Davies, H.R. Gerstl, H.R. Gordon, P.J. Sellers, J. Clark, J.A. Daniels, E.D. Danielson, V.G. Duval, K.P. Klaassen, G.W. Lilienthal, D.I. Nakamoto, R.J. Pagano and T.H. Reilly, 1989, "MISR: A Multiangle Imaging

Janvier 2003

- 44 -





## INTERREG III-EXPER/PF

Spectroradiometer Geophysical and Climatological Research from EOS", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 27, pp 200-214".

Dubuisson, Ph., Buriez, J.C. and Fouquart, Y., 1996, High spectral resolution solar radiative transfer in absorbing and scattering media: application to the satellite simulations, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 55, pp 103-126.

Ghan, Steven ; Laulainen, Nels ; Easter, Richard ; Wagener, Richard ; Nemesure, Seth ; Chapman, Elaine ; Zhang, Yang ; Leung, Ruby, 2001a, Evaluation of aerosol direct radiative forcing in MIRAGE, *J. Geophys. Res.* Vol. 106, No. D6, p. 5295-5316

Ghan, Steven ; Easter, Richard ; Hudson, James ; Bréon, Francois-Marie, 2001b, Evaluation of aerosol indirect radiative forcing in MIRAGE, *J. Geophys. Res.* Vol. 106, No. D6, p. 5317-5334

Holben, B., E. Vermote., Y.J. Kaufman, D. Tanré and V. Kalb, 1992, Aerosol retrieval over land from AVHRR data. Application for Atmospheric correction, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 30, No 2, pp. 212-22.

Holben, B.N., T. F. Eck, I. Slutsker, D. Tanré, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y. J. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenue, I. Jankowiak and A. Smirnov, 1998, AERONET- A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization. *Remote Sens. Environ.*, 66:1-16.

Holben, B., T.F. Eck and R.S. Fraser, 1991, Temporal and spatial variability of aerosol optical depth in the Sahel region in relation to vegetation remote sensing, *Int. J. Remote Sensing*, vol. 12, pp. 1147-1163.

Holben, B.N., Y.J. Kaufman, A. Setzer, D. Tanré and D.E. Ward, 1991, Optical properties of aerosol from biomass burning in the tropics, BASE-A, *Cambridge MA : MIT Press*, , pp. 403-411.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change, 1995: The Science of Climate Change, edited by J.T. Houghton et al., *Cambridge Univ. Press, New York*, 1996

Jacobson, M.Z., 2001, Global direct radiative forcing due to multicomponent anthropogenic and natural aerosols, *J. Geophys. Res.* Vol. 106 , No. D2 , p. 1551-1568

Junge, C.E., 1963, Air chemistry and radiochemistry. New York: Academic Press.

Kaufman, Y.J., 1993, Measurements of the aerosol optical thickness and the path radiance – Implications on aerosol remote sensing and atmospheric corrections, *J. Geophys. Res.* 98,2677-2692.

Kaufman, Y.J. and Sendra., C., 1988, Algorithm for automatic corrections to visible and near-infrared satellite imagery. , *International Journal of Remote Sensing*, 9, 1357-1381

Kaufman, Y.J. and Tanré D., 1992, Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS, *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*, 30, 2.





# INTERREG III-EXPER/PF

Kaufman, Y.J. and R.S. Fraser, 1997, Confirmation of the smoke particles effect on cloud and climate, *Science*, 277, 1636-1639

Kaufman, Y.J., A. Setzer, D. Ward, D. Tanré, B.N. Holben, P. Menzel, M.C. Prereira and R. Rasmussen, 1992, Biomass Burning Airborne and Spaceborne Experiment in the Amazonas (BASE-A), *J. Geophys. Res.*

Kaufman, Y.J., Tanré, D., Chu, A., Matoo, S., and Remer L.A., August 1996, Algorithm for remote sensing of tropospheric aerosol from MODIS, *MODIS Algorithm Theoretical Basis Document, MOD04*.

Kaufman, Y.J., A. Wald, L.A., Remers, B.C. Gao R.R. Li and L. Flynn., 1997, Remote sensing of aerosol over continent with the aid of a 2.2mm channel, *IEEE Trans. on Geosci. Remote Sensing*.

King, M.D., Y.J. Kaufman, P. Menzel and D. Tanré, 1992, Determination of cloud, aerosol, and water vapor properties from the Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS), *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*, 30, 2-27.

Leroy, M., V. Bruniquel-Pinel, O. Hautecoeur, F.M. Breon and F. Baret, October 1998, Corrections atmosphérique des données MERIS/ENVISAT : caractérisation de la BRDF de surfaces sombres. Rapport final ESTEC.

Lyapustin, A. I., Kaufman, Y. J., 2001. Role of adjacency effect in the remote sensing of aerosol, *J. Geophys. Res.* Vol. 106, No. D11, p. 11,909-11,916

Penner, J.E., R.E. Dickinson, and C.A. O'Neill, 1992, Effects of aerosol from biomass burning on the global radiation budget, *Science*, 256, 1432-1434

Salomonson, V.V., W.L. Barnes, P.W. Maymon, H.E. Montgomery and H. Ostrow, 1989, MODIS: Advanced facility instrument for studies of the earth as a system, *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*, Vol. 27, pp. 145-153.

Ramon D., and R. Santer, 2001, Operational Remote Sensing of Aerosols over Land to Account for Directional Effects, *Applied Optics-LP*, vol. 40 no 18, 3060-3075.

Ramon, D., R. Santer, R. Ramanananaherisoa, J. Fischer, E. Dilligeard and T. Heinemann, April 1999, Characterisation of aerosols over land from space sensors, *Final Report of a study for the CEO, contract N 14055-1998-06*.

Rast, M., and J.L. Bezy, 1995, The ESA Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS): Requirements to its mission and performance of its system, in RSS95, Remote Sensing in action, proc. 21<sup>st</sup> Annual Conf. Remote sensing Soc., 11-14 September, University of Southampton, Eds. P.J. Curran and Y.C. Robertson, Remote Sensing Society, Nottingham, pp. 125-132.

Santer, R., V. Carrere, Ph. Dubuisson and J.C. Roger, 1999, Atmospheric corrections over land for MERIS. *Int. J. Remote Sensing*, vol. 20 no 9, 1819-1840.

Santer, R., and C. Schmechtig, 2000, Adjacency effects on water surfaces : primary scattering approximation and sensitivity study. *Applied Optics*, 39, 361-375.

Janvier 2003

- 46 -





## INTERREG III-EXPER/PF

Schmechtig, C., R. Borde, D. Ramon and R. Santer, 2001, Validation of the atmospheric correction over land algorithm for the MOS sensor, Proceedings of the 8th International Symposium Physical measurements and Signatures in Remote Sensing. 8-12 January 2001, pp 179-184, Aussois France.

Tanré, D., P.Y. Deschamp, C. Devaux and M. Herman, 1988, Estimation of Saharan aerosol optical thickness from blurring effect in Thematic Mapper data, *J. Geophys. Res.*, 95, 9895-9909.

Tucker, C.J., 1979, Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation., *Remote sensing of Environment*, 8, 127-150.

Twomey, S.A., M. Piepgrass, and T.L. Wolfe, 1984, An assessment of the impact of pollution on global cloud albedo, *Tellus*, 36, 356-366.

Veefkind J P and de Leeuw G, 1998, Retrieval of aerosol optical depth over land using two-angle view satellite radiometry during TARFOX, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 3135-3138.

Vermote E., D. Tanré, J.L. Deuze, M. Herman and J.J. Morcrette, 1995, Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum (6S), User's guide.

Vermote, E.F., El Saleous, N., and Roger, J.C., 1994, Operational atmospheric correction of AVHRR visible and near infrared data, in *Proceeding of the European Symposium on Satellite Remote Sensing*, Vol. 2311, Rome, Italy, 26-30 September 1994.

Vermote, E. and Tanré, D., 1992 - Analytical expressions for radiative properties of planar Rayleigh scattering media, including polarization contributions. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, vol. 47, N° 4, pp. 305-314.

Zhang, J., S.A. Christopher and B. Holben, 2001, Intercomparison of smoke aerosol optical thickness derived from GOES 8 imager and ground-based Sun photometers. *J. Geophys. Res.* Vol. 106, No. D7, p. 7387-7397.

Zimmermann G., Neumann A., Sümnick H., and Schwarzer H., 1993 : "MOS/PRIRODA - An imaging VIS/NIR spectrometer for ocean remote sensing", SPIE Proceedings Vol. 1937, pp 201-206





## ANNEXES

### → TABLE CAPTIONS

**Table 1:** General characteristics of MOS spectral bands.

**Table 2:** DDV models selection table. These ones are derived from POLDER observations.

### → FIGURE CAPTIONS

**Figure 1:** General principles of atmospheric corrections over land for the MOS sensor. Top of atmosphere reflectance is successively corrected of the gaseous transmission, especially Ozone and water vapour, of the Rayleigh molecular scattering effect and of the aerosol contribution over DDV occurrences.

**Figure 2:** Dark Dense Vegetation reflectances at 443 nm (stars) and 615 nm (crosses) as a function of the solar zenith angles. Reflectances were calculated from LUT for a Nadir observation, considering a winter mid-latitude DDV model (solid lines) and a summer mid-latitude DDV mode (dashed lines).

**Figure 3:** ARVI thresholds calculated from the DDV BRDF LUT as a function of the solar zenith angle and aerosol optical thickness at 550 nm, for a continental aerosol model ( $\alpha=1$ ,  $m=1.44$ ) and for a Nadir observation. Except for high solar zenith angles ( $\text{sza} > 60^\circ$ ) the ARVI threshold has not brutal variations.

**Figure 4:** Impact of the  $\gamma$  coefficient on the ARVI threshold for various aerosol optical thicknesses. Reflectances were calculated for a Nadir observation, for a solar zenith angle of  $44^\circ$ , for an aerosol model, which have a refractive index of 1.44, and four Angström coefficient (0, 0.5, 1. and 1.5). The value of  $\gamma$  has not generally a great impact on the ARVI threshold except for small particles, for which a  $\gamma$  value near 1.3 is more robust.

**Figure 5:** Flow chart of the aerosol retrieval for MOS atmospheric correction over land algorithm.

**Figure 6:** (a) Pixel classification image derived from a MOS image acquired on 17/9/97 over south-west of France at 11h 16 UT. The solar zenith angle was  $42^\circ$  at the center of the image. The track of the MOS image is limited by a black square and is given for informational purposes as MOS navigation is not accurate. On the background map, topography is plotted in black contours. DDV pixels are in green whereas other pixels are in red and are classified as land or bright. The orange bands correspond to unprocessed pixel (no MOS A data). The DDV selection is made with nominal DDV ARVI thresholds. (b) For the same image, the classification is made with nominal DDV ARVI thresholds lowered by 0.15. Yellow colour corresponds to DDV pixels for which the top of atmosphere reflectance at 443 nm is remotod to the mean reflectance of DDV by more than one standard deviation  $\sigma$ . Green ones represent other DDV pixels for which reflectances at 443 are gathered around the mean reflectance of DDV.

**Figure 7:** Image in the near infrared and histogram of Top Of Atmosphere reflectances in channels at 408, 443, 615 and 890 nm for pixels which are identified as DDV on two MOS





## INTERREG III-EXPER/PF

scenes. (a) For the image of Figure 6. (b) For an image acquired above English Channel on 24/01/97. In the first case DDV pixels are identified in clear sky condition over south west of France, they really correspond to DDV situations. In the second one, DDV pixels are located into the shadow of the cloud (in dark on the top image).

**Figure 8:** Aerosol Optical Thickness (AOT) at 550 nm and Aerosol Model (AM) retrieved by the algorithm for each 64 by 128 windows where more than 64 DDV pixels have detected, as a function of the ARVI thresholds. Lines represent results calculated for the same 64 by 128 pixels box as ARVI increases. Projections on XY, YZ and XZ planes are also plotted showing the individual dependence of AOT upon ARVI thresholds and AM, and dependence of AM upon ARVI thresholds. Results are presented respectively for MOS scenes viewed by the sensor the 2/9/96 (middle), the 7/9/96 (bottom) and the 17/9/97 (top, image of figure 6) over south west of France. The aerosol model reported on the y axis is labelled from 5 to 8 corresponding to an Angström coefficient from 0 to 1.5 by step of 0.5 for a refractive index set to 1.44.

**Figure 9:** Corrected surface reflectances at 615 nm (a) and 443 nm (b) lesser than 0.1 as a function of the ARVI for a MOS scenes viewed over south west of France on 17/9/97. There is a clear linear relationship for the red reflectance. It is quite uncorrelated for the blue reflectance.

**Figure 10:** Same as figure 8, but the DDV reflectance at 615 nm was corrected from MOS observations using the simple relationships between corrected surface reflectances at 615 nm and the ARVI described by equation 6. Both the aerosol type and the aerosol optical thickness are quite unsensitive to a decrease of the ARVI threshold down to 0.65.

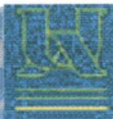
**Figure 11:** NDVI and aerosol optical thickness at 550 nm for the MOS scene of figure 6. The NDVI is computed with surface reflectances obtained after correction from aerosol scattering. The aerosol inversion is performed for each 64\*128 sub-windows (rectangle with dotted lines) with more than 64 extended DDV pixels (and the optical thickness retrieved at 550 nm is indicated in these sub-windows). Only such pixels have their NDVI on the map. Other pixels are dark. There is no apparent correlation between the NDVI and the retrieved aerosol optical parameters.

**Figure 12:** Classification image of a scene acquired above South west of France (Landes forest) on 14/08/97. DDV zones are surrounded by "normal" vegetation or bare soils. It produces a very patchy DDV patterns and it is a good zone for studying the impact of adjacency effects on aerosol retrieval. A small isolated DDV area is studied in details in Figure 14.

**Figure 13:** Histograms of ground reflectance for the image described in figure 12. (a) at 443 nm; (b) at 615 nm. Pixels are classified in two groups: DDV and other land cover. There is a significant reflectivity contrast between DDV zones and their surroundings in the red.

**Figure 14:** ARVI for a 11x11 pixels zone extracted from image of figure 12.





INTERREG III-EXPER/PF

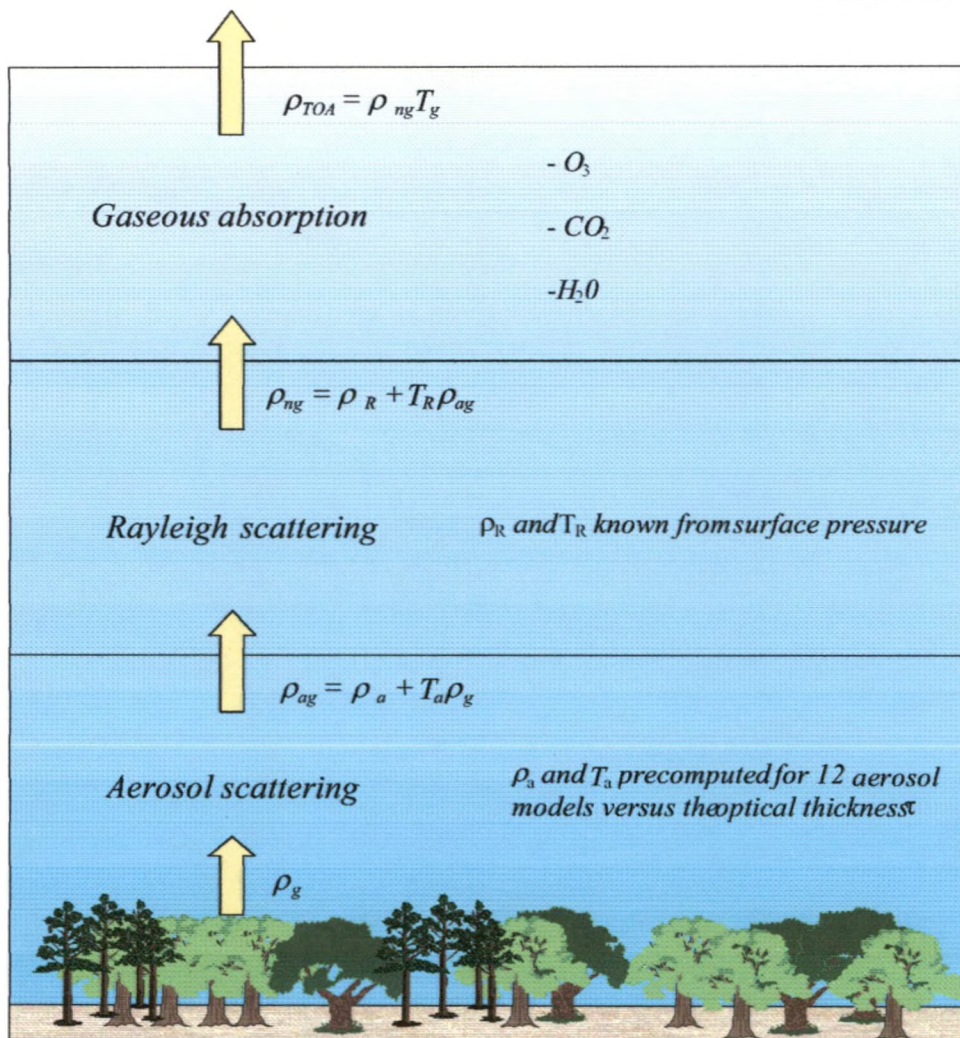
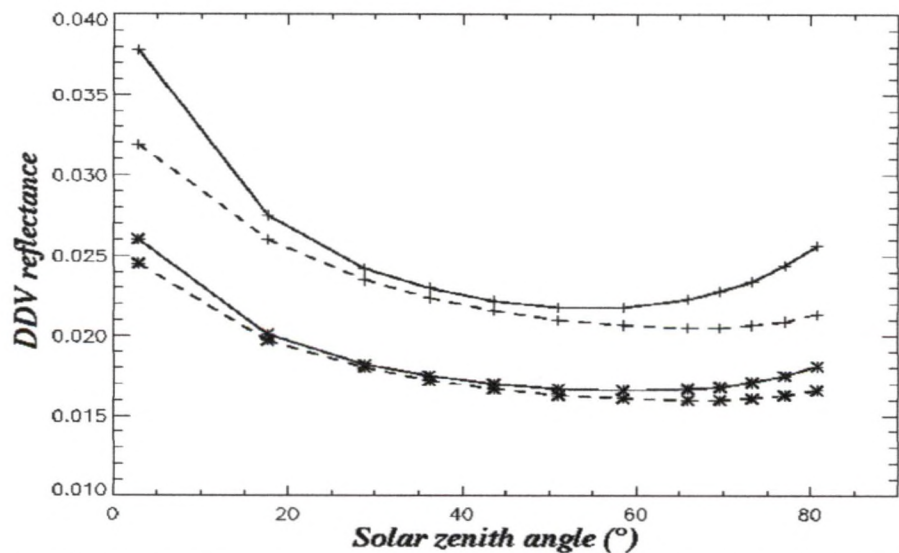


Figure 1



Janvier 2003

- 50 -



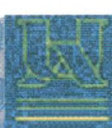


Figure 2

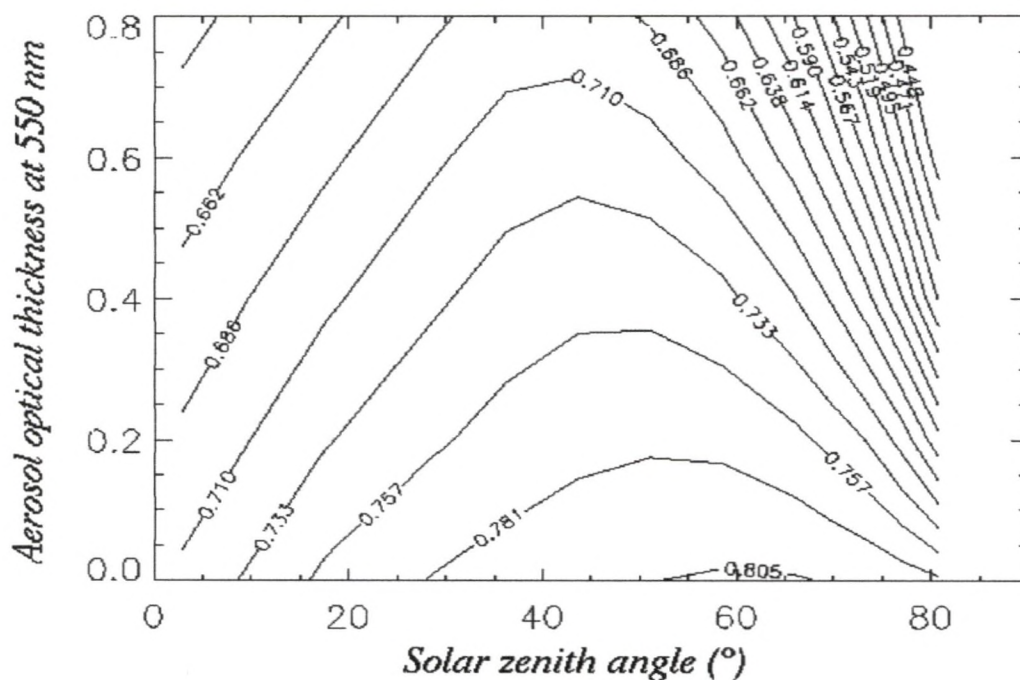


Figure 3

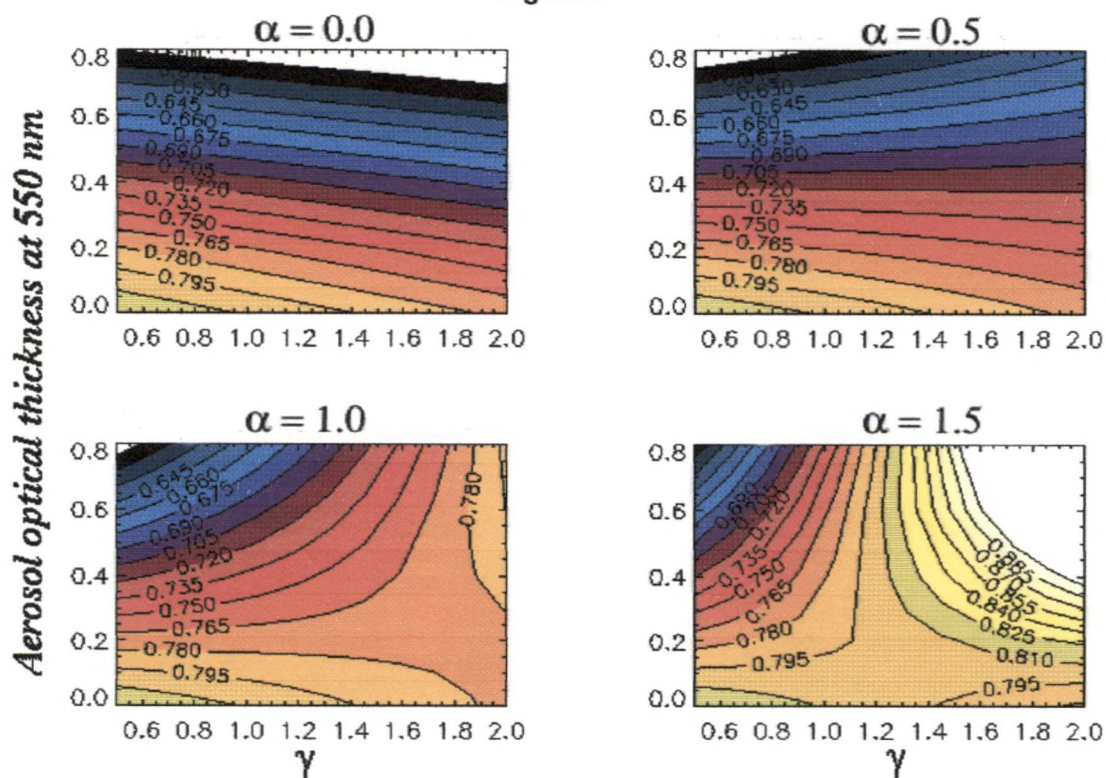


Figure 4

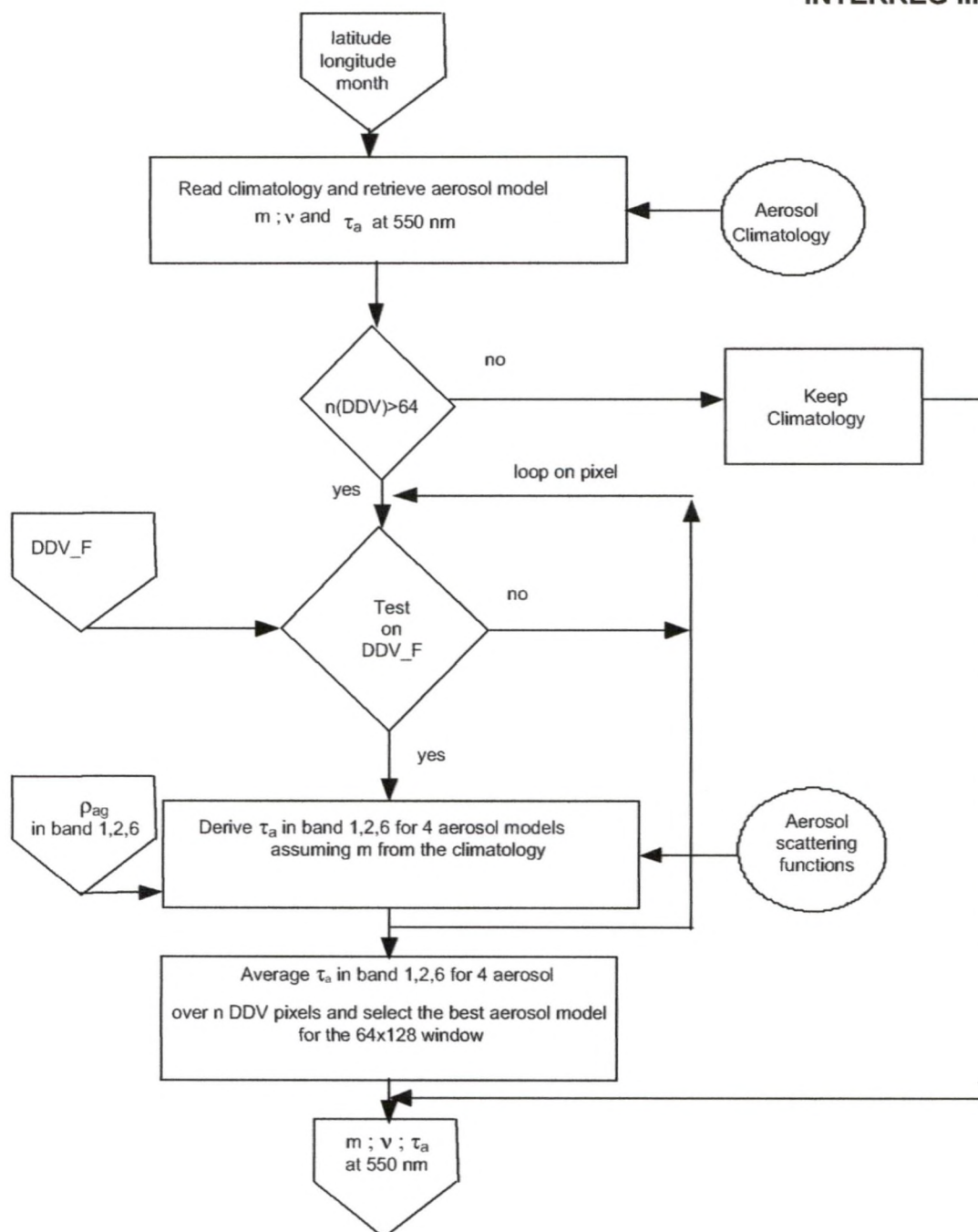
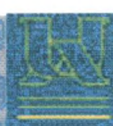


Figure 5





INTERREG III-EXPER/PF

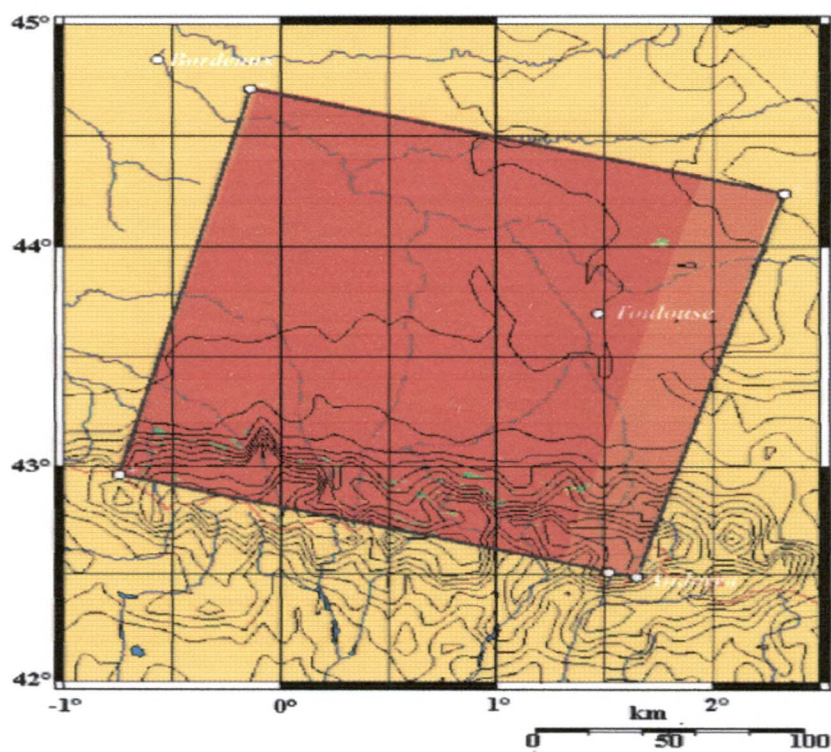


Figure 6a

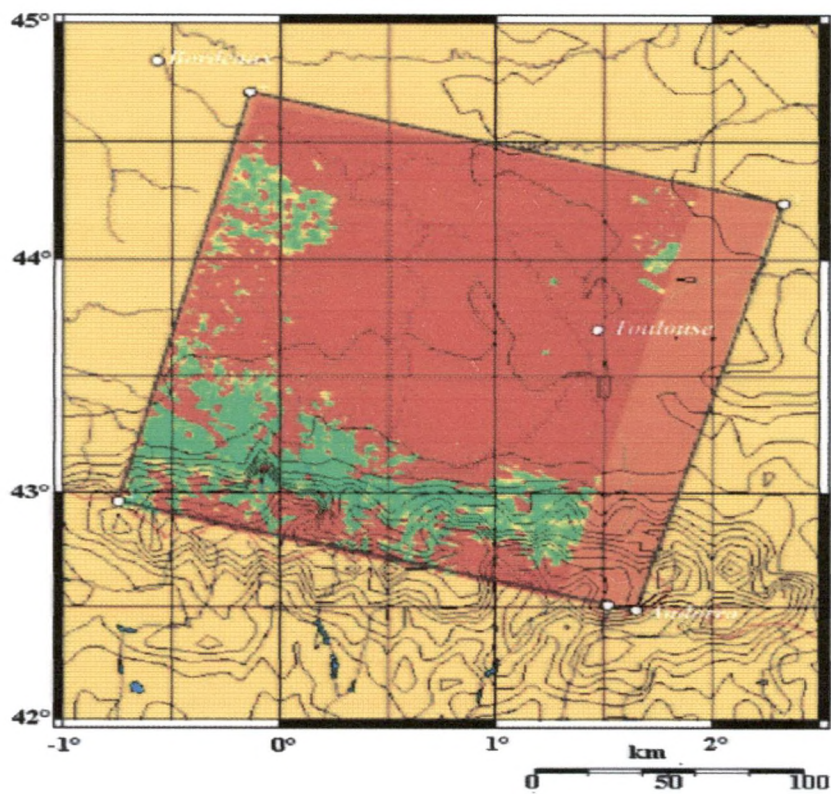
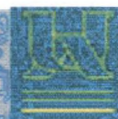


Figure 6b



INTERREG III-EXPER/PF

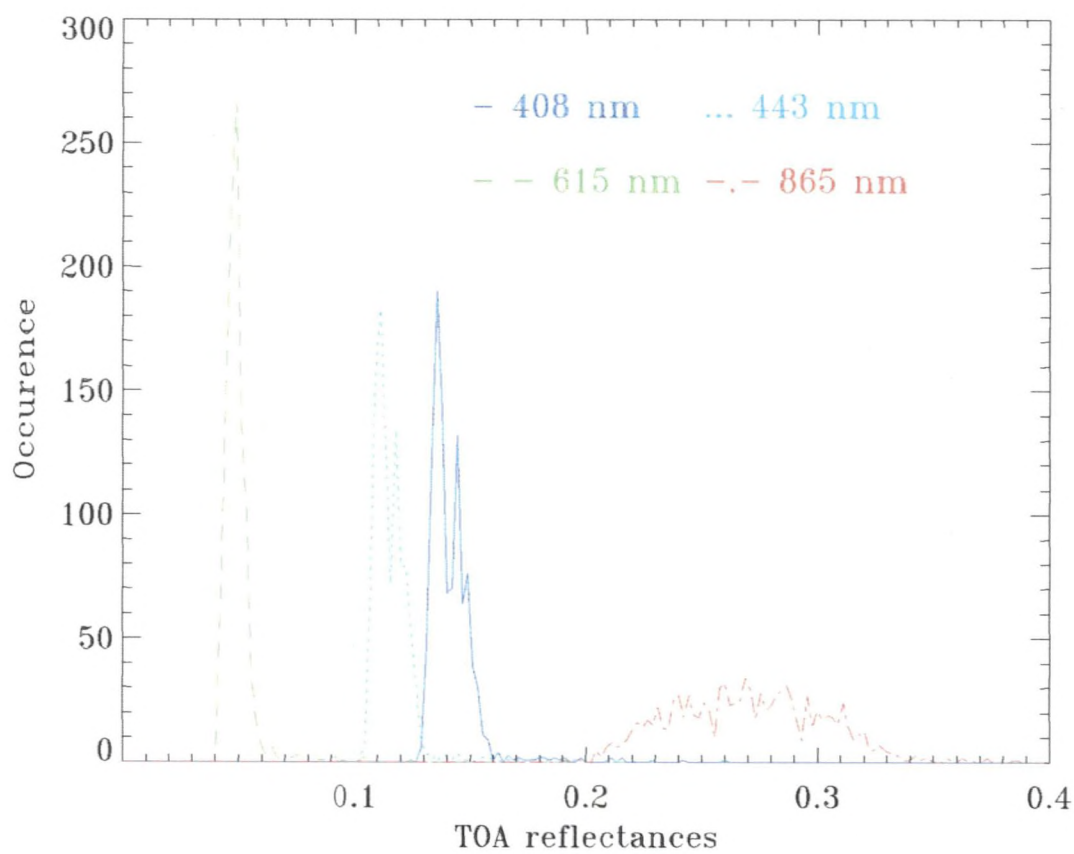
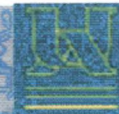


Figure 7a





INTERREG III-EXPER/PF

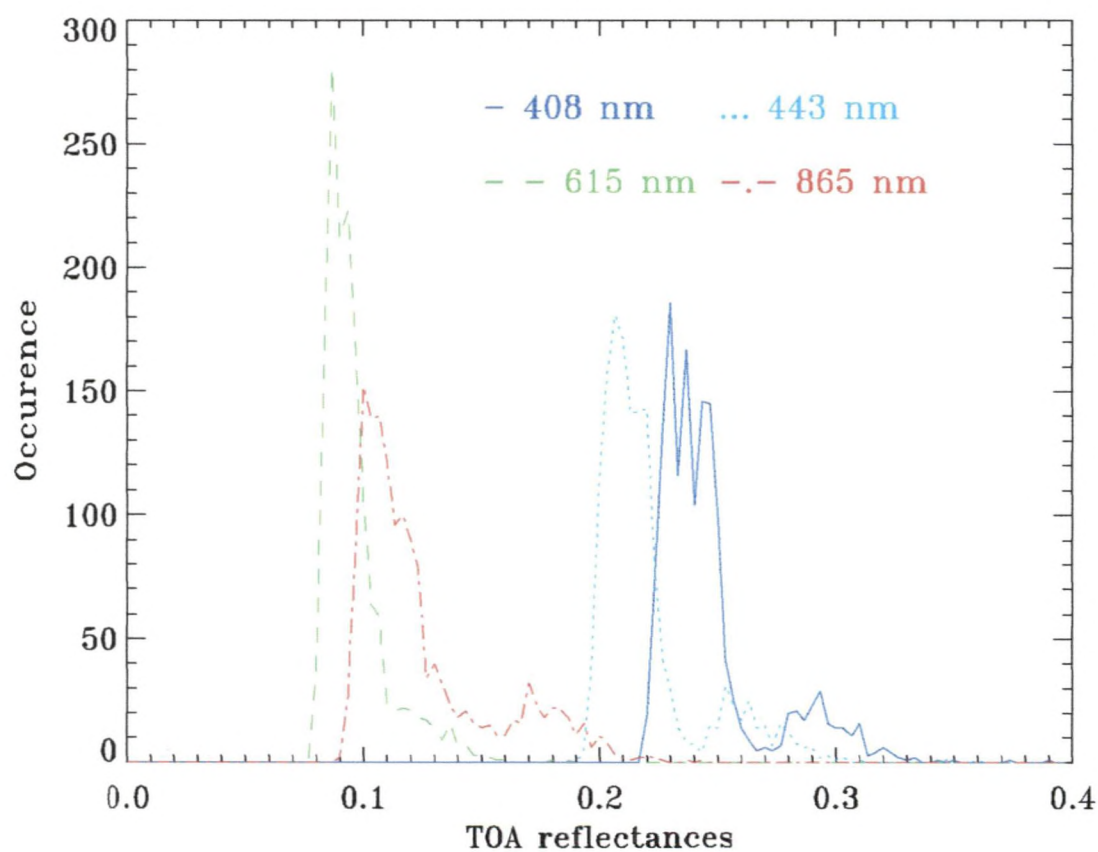
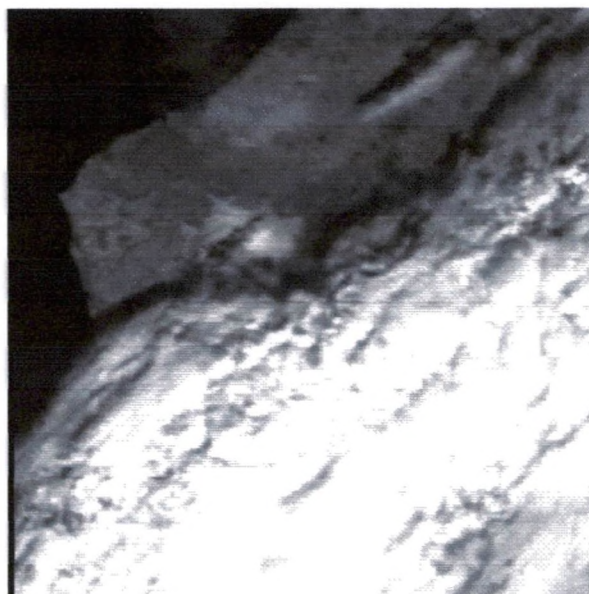
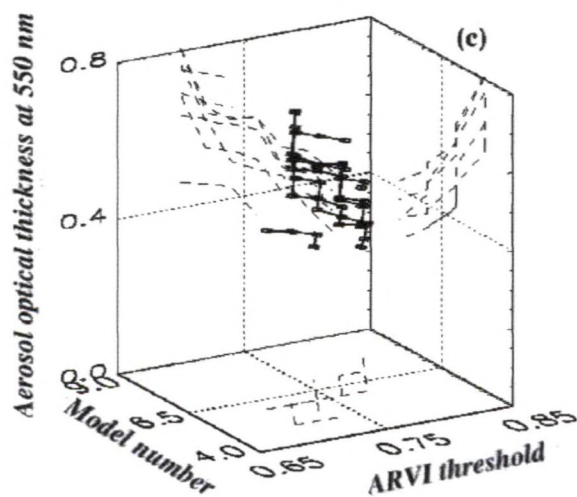
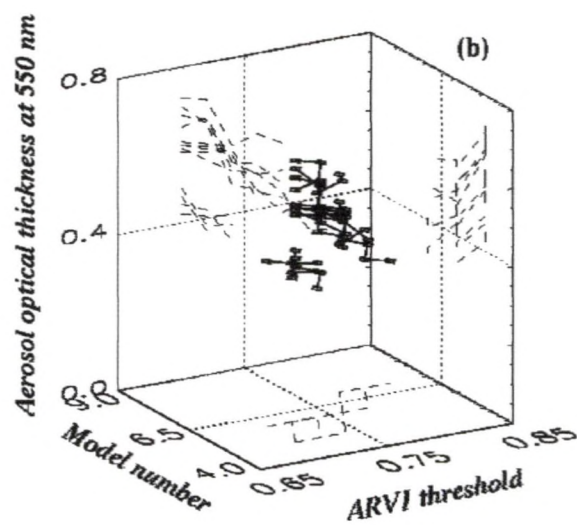
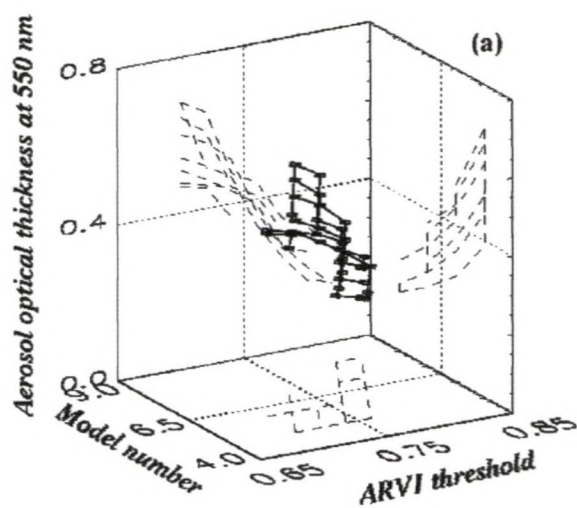


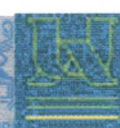
Figure 7b



INTERREG III-EXPER/PF







INTERREG III-EXPER/PF

Figure 8

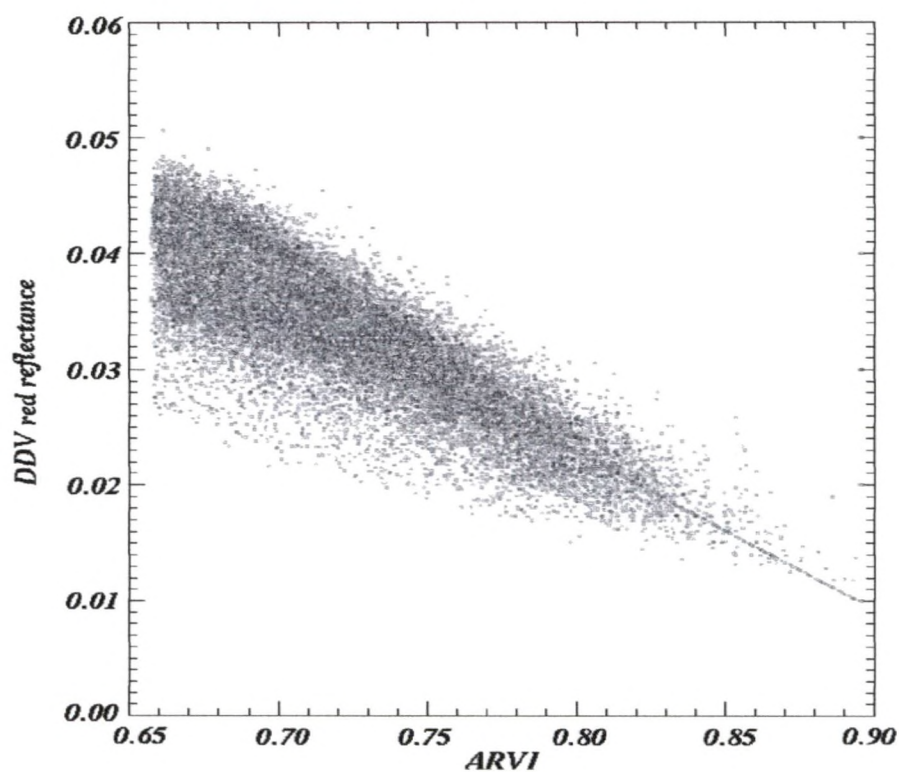


Figure 9a

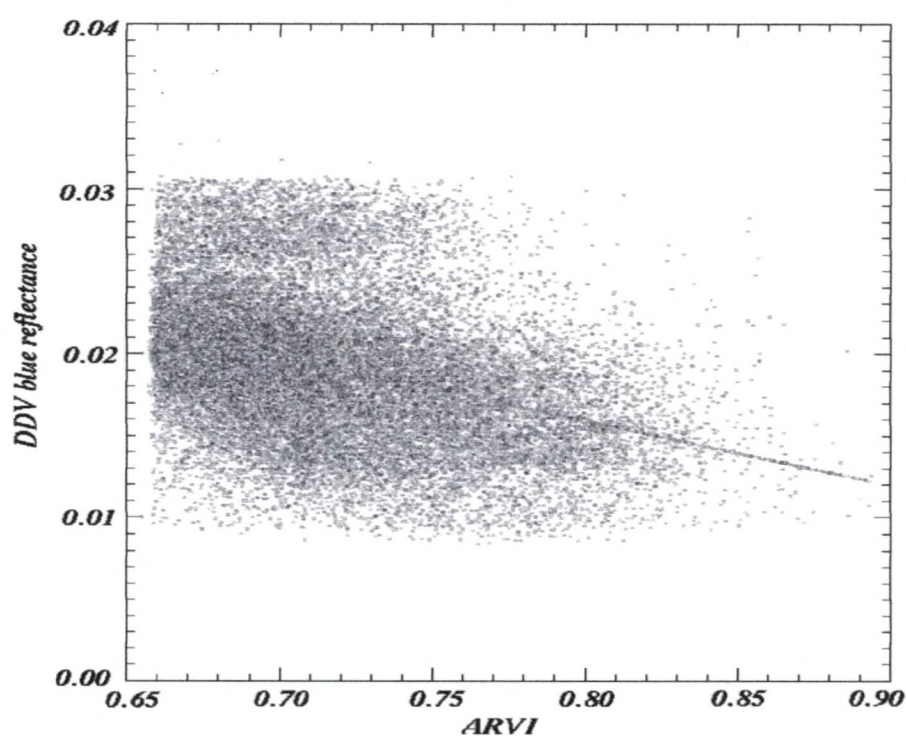
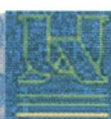


Figure 9b

Janvier 2003



INTERREG III-EXPER/PF

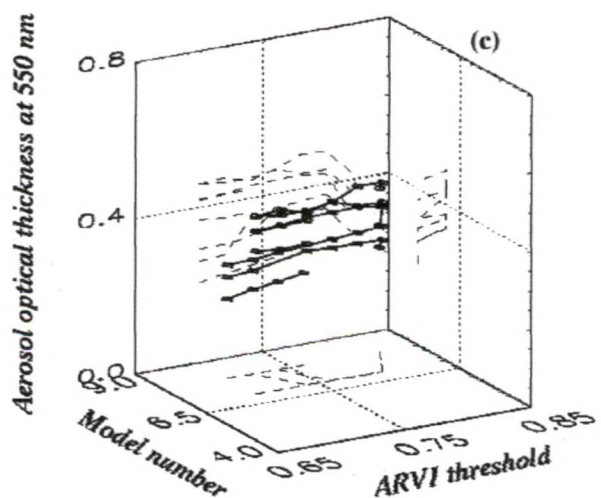
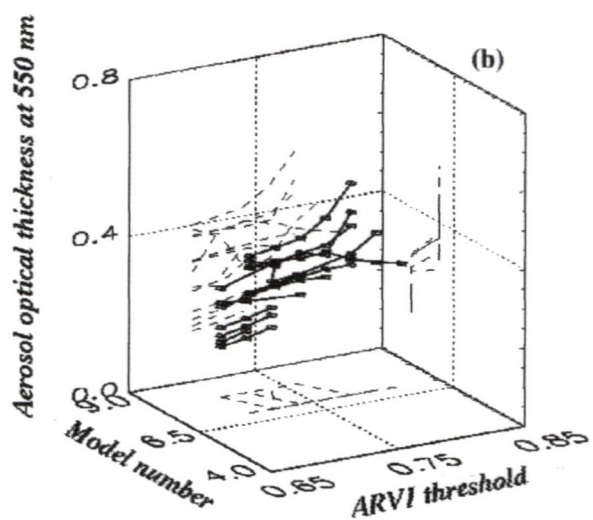
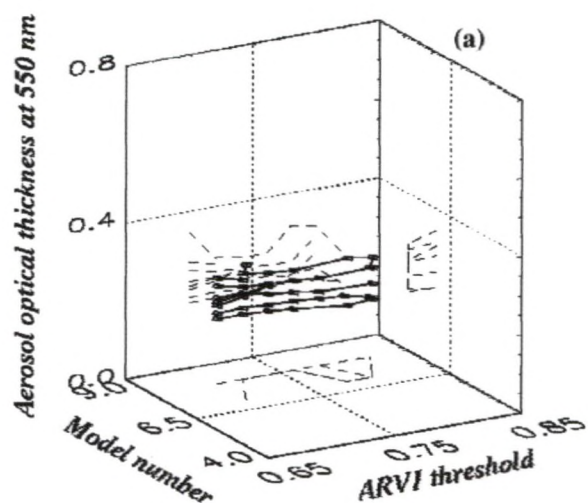




Figure 10

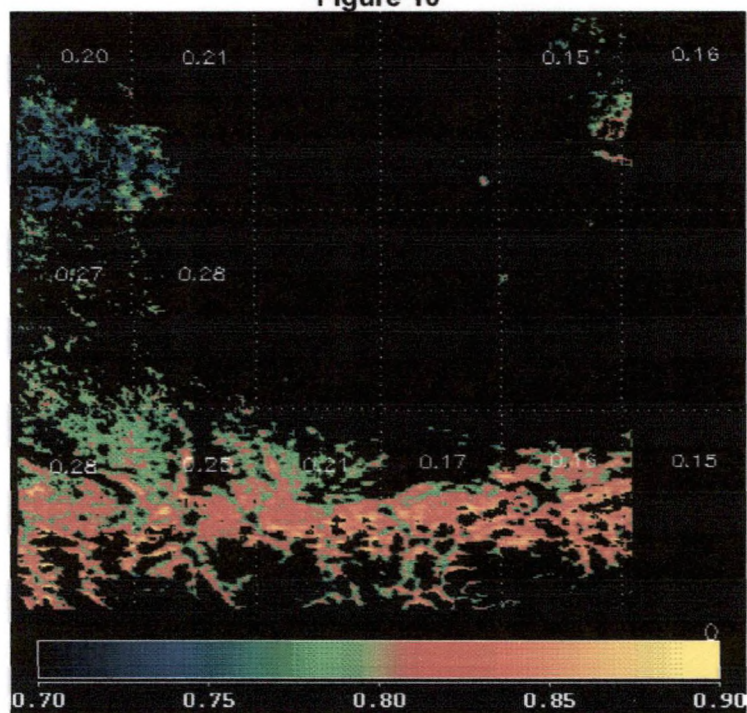


Figure 11

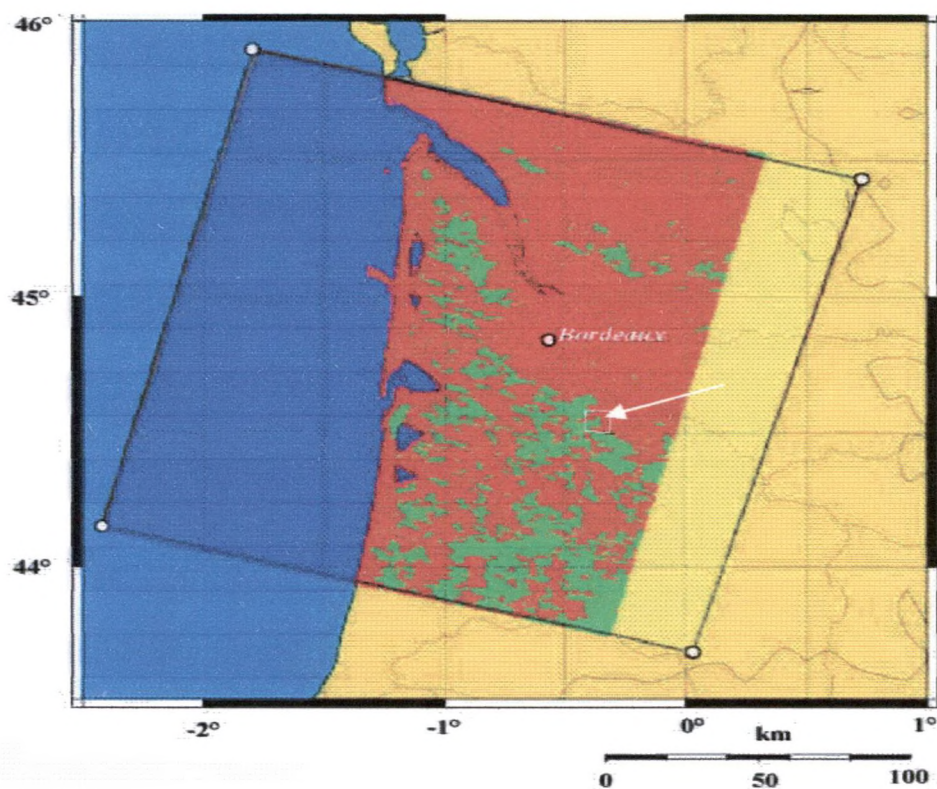
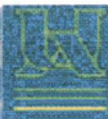


Figure 12



INTERREG III-EXPER/PF

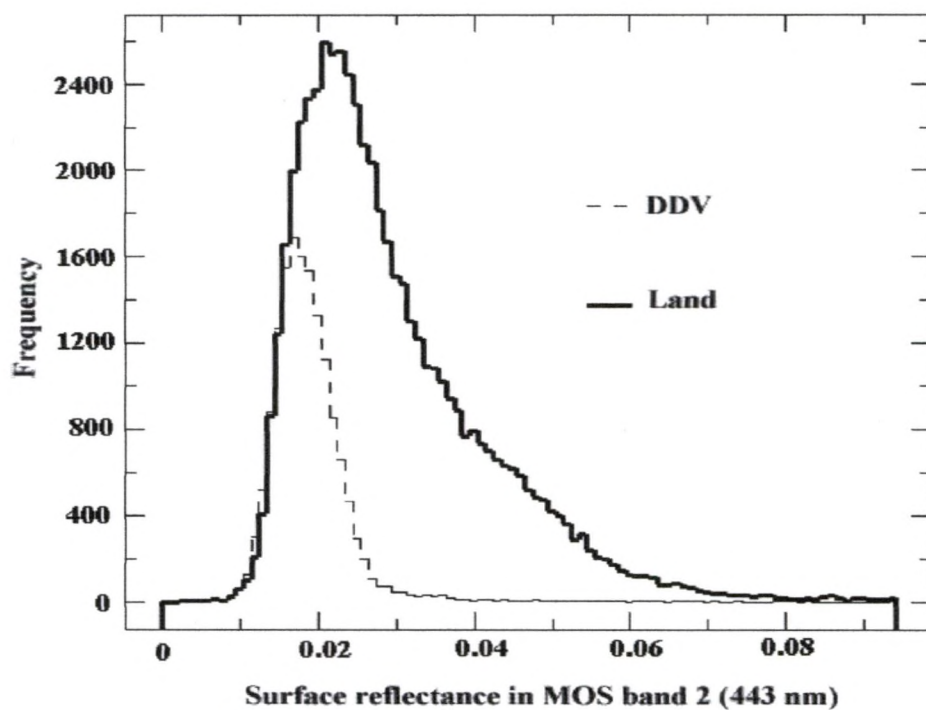


Figure 13a

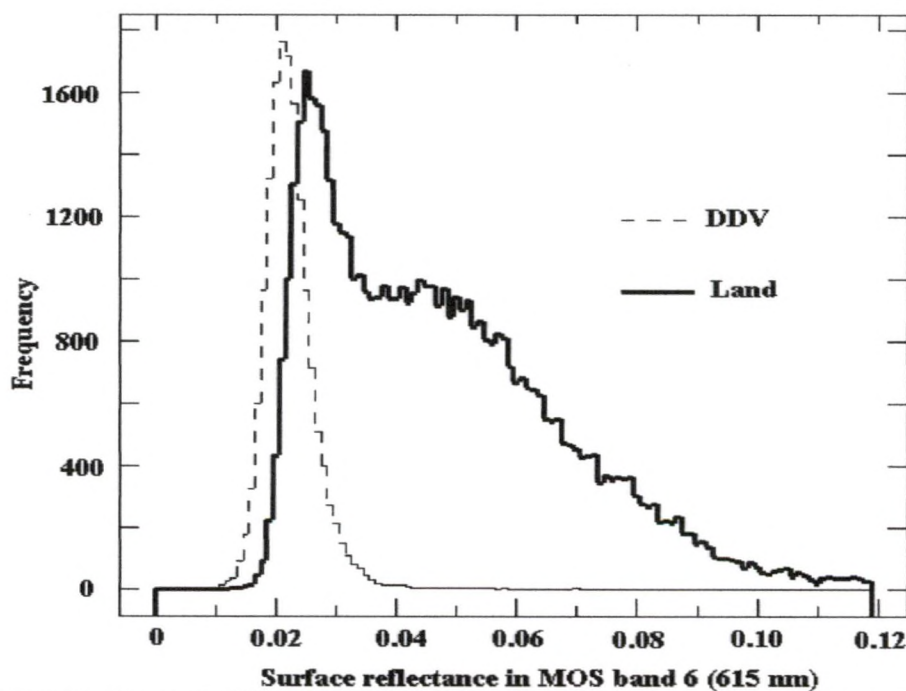
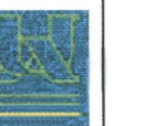
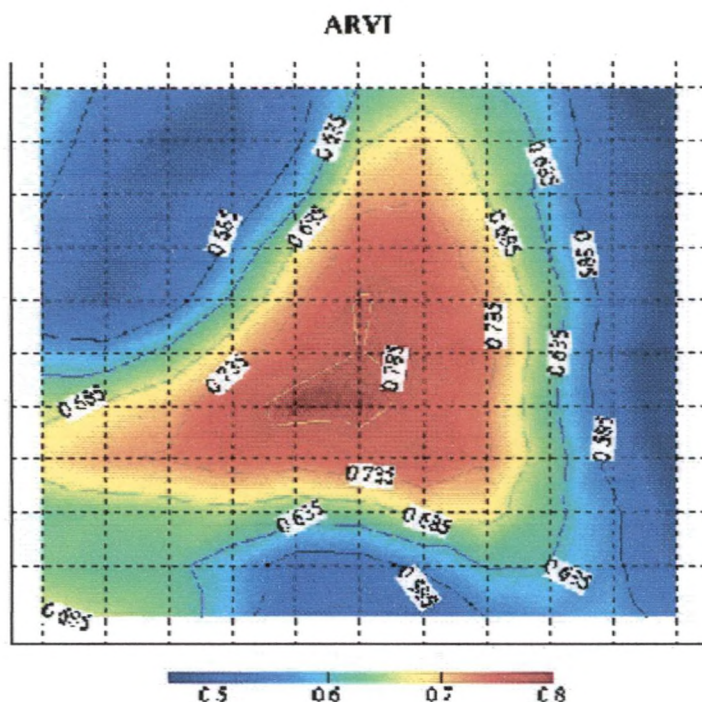


Figure 13b





# INTERREG III-EXPER/PF

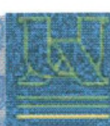


**Figure 14**

MOS sensor	Band (nm)	Bandwidth (nm)	Band Number (if used)	Transmittance $\square_0 = 30^\circ$ ; $\square_v = 0^\circ$ atm. MLS	H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	used	corrected
MOS B	408	5	1					yes	yes
MOS B	443	5	2	O <sub>3</sub> = 0.998			X	yes	yes
MOS B	485	5	3	H <sub>2</sub> O = 0.9995 O <sub>3</sub> = 0.986			X	yes	yes
MOS B	520	5	4	H <sub>2</sub> O = 1. O <sub>3</sub> = 0.967			X	yes	yes
MOS B	570	5	5	H <sub>2</sub> O = 0.982 O <sub>3</sub> = 0.917	X		X	yes	yes
MOS B	615	5	6	H <sub>2</sub> O = 1. O <sub>3</sub> = 0.922			X	yes	yes
MOS B	650	5	7	H <sub>2</sub> O = 0.926 O <sub>3</sub> = 0.955	X		X	yes	yes
MOS B	685	5	8	H <sub>2</sub> O = 0.996 O <sub>2</sub> = 0.931 O <sub>3</sub> = 0.977	X	X	X	yes	yes
MOS B	750	5	9	H <sub>2</sub> O = 0.999 O <sub>2</sub> = 1. O <sub>3</sub> = 0.993			X	yes	yes
MOS A	757	0.7	10	H <sub>2</sub> O = 1. O <sub>2</sub> = 0.997 O <sub>3</sub> = 0.995				yes	no
MOS A	760.6	0.7		H <sub>2</sub> O = 1. O <sub>2</sub> = 0.102 O <sub>3</sub> = 0.995				no	no
MOS A	763.5	0.7	11	H <sub>2</sub> O = 1. O <sub>2</sub> = 0.326 O <sub>3</sub> = 0.995				yes	no
MOS A	766.5	0.7		H <sub>2</sub> O = 1. O <sub>2</sub> = 0.786 O <sub>3</sub> = 0.995				no	no
MOS B	815	5		H <sub>2</sub> O = 0.687 O <sub>2</sub> = 1. O <sub>3</sub> = 0.996			X	no	no
MOS B	870	5	12	H <sub>2</sub> O = 0.162 O <sub>2</sub> = 1. O <sub>3</sub> = 0.999				yes	no
MOS B	945	5	13	H <sub>2</sub> O = 0.997 O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> = 1. O <sub>3</sub> = 0.995	X			yes	yes
MOS B	1010	5	14	H <sub>2</sub> O = 0.993 O <sub>2</sub> = 1. CO <sub>2</sub> = 0.962 O <sub>3</sub> = 1.	X			yes	yes

**Table 1**

Janvier 2003



## INTERREG III-EXPER/PF

Model number	Model name	Latitude range (°)	Month
1	Summer Equatorial DDV	[-20, 20 ]	{4,5,6,7,8,9}
2	Winter Equatorial DDV	[-20, 20 ]	{1,2,3,10,11,12}
3	Summer Tropical DDV	[-40,-20] and [20,40]	{4,5,6,7,8,9}
4	Winter Tropical DDV	[-40,-20] and [20,40]	{1,2,3,10,11,12}
5	Summer Mid-latitude DDV	[-60,-40] and [40,60]	{4,5,6,7,8,9}
6	Winter Mid-latitude DDV	[-60,-40] and [40,60]	{1,2,3,10,11,12}
7	Boreal DDV	[-90,-60] and [60,90]	1 to 12

Table 2





## AEROSOL REMOTE SENSING OVER LAND: COMPARISON OF TWO METHODS

Vidot J.<sup>\*ab</sup>, Borde R.<sup>\*\*c</sup> and Santer R.<sup>\*a</sup>

<sup>a</sup> ELICO, UMR CNRS 8013; Université du Littoral Côte d'Opale (France)

<sup>b</sup> ADRINORD (France)

<sup>c</sup> JRC/ Institute for Health and Consumer Protection (Italy)

### ABSTRACT

Aerosol remote sensing over land requires knowing the surface reflectance in some spectral bands. Dense dark vegetation can be used in the blue and in the red based on ground based measurements of their reflectances or even space measurements from a statistical analysis for clear days. An aerosol remote sensing algorithm based on DDV is available on MERIS data (Santer et al., 1999). An other alternative is to derive the surface reflectances from space as far as you have ground based characterization of the aerosols to perform suitable atmospheric correction, at least on a representative time series (Borde and Verdebout, 2001). The two algorithms, applied on SeaWiFS images, are compared over three sites (Toulouse, Ispra, Adriatic) for which ground based measurements are available.

**Keywords:** Remote sensing of aerosol over land, Aerosol optical thickness, Sun-photometer measurements, SeaWiFS sensor, Atmospheric correction, Dense Dark Vegetation

### 1. INTRODUCTION

Most of the projects aiming at quantifying the aerosols with satellite sensors are conducted in the framework of climate studies. The impact of aerosol particles is considered as one of the main uncertainties in the climate modelling (Intergovernmental Panel of Climate Change, 1996). The present study was rather undertaken to prospect an application in the field of air quality monitoring. When inhaled, small particles can penetrate deeply in the lungs and cause health hazards. Ideally, one should quantify the amount of solid particles with a size below 10 or 2.5  $\mu\text{m}$ , the so called PM10 and PM2.5, which are the object of air quality regulations. However, even if restricted to the estimation of aerosol optical thickness, with their spatial and temporal coverage satellite estimations would constitute a valuable contribution.

The retrieval of aerosol properties from satellite data ideally requires well-calibrated multispectral sensors with narrow spectral bands outside the water vapour absorption regions (Kaufman, 1995). Especially over land, where the higher surface reflectivity and its non-Lambertian nature makes difficult to distinguish between the surface and aerosol contributions, multi-angular instruments offer a major advantage. A number of aerosol products are now or will be available from the new generation of sensors, mostly intended to support climate studies. For example, MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) onboard Envisat will provide some aerosol information (Santer et al., 1999).

A common method for determining the atmospheric contribution to the satellite signal is to make an assumption about the surface reflectivity or albedo. Locations where the surface boundary condition is believed to be reasonably well understood are areas covered by Dense Dark Vegetation (DDV) (Kaufman and Sendra, 1988). Here, atmospheric corrections over land algorithms (MODIS, MERIS) allow estimation of the aerosol type and





the aerosol optical thickness because the signal is predominantly atmospheric. The low reflectance of DDV in the visible part of the spectrum is used in conjunction with an aerosol model to retrieve the aerosol optical depth. However, since DDV is found only over a small fraction of the land surface, other methods are required to extend the aerosol retrieval over brighter surfaces.

The present study prospects the possibility of the quantification of aerosol optical thickness over land from the Earth Observation sensor SeaWiFS (Hooker et al., 1992) from two methods and compares these two methods. The SeaWiFS sensor is mainly devoted to studying ocean color. The spectral characteristics of the sensor are a priori not optimal for retrieving aerosol properties over land surfaces, but they have the advantage of providing daily coverage of the Earth. A basic description of aerosol properties is given in section 2. The general methodology of the first method, the DDV method developed for the MERIS sensor, is an algorithm for correcting remote sensing images over land from atmospheric effects and providing the associated aerosol product, the aerosol optical thickness and the aerosol model. This method is described in section 3 and based on the correction from gaseous absorption and the correction from the molecular scattering of the remote sensing images. All steps are based on simplified formulations of the signal in order to ease inversion of Top Of Atmosphere (TOA) (Santer et al., 1999). The second method proposed to retrieve aerosol optical depth from remote sensing and sun photometer measurements (Borde et Verdebout, 2001) is described in section 4. It is mainly based on the characterization of the bidirectional surface reflectance over a specific site for the studied period. Once the BRDF is determined, aerosol optical thickness is retrieved. Precomputed Look Up Tables (LUT) of Top Of Atmosphere radiances are used and it is assumed that both Rayleigh scattering and gaseous transmission do not vary from day to day over the whole period. Finally these methods are applied on SeaWiFS data, over 3 European sites: Ispra, Adriatic (Italy) and Toulouse (France) during June, July and September 1999 on section 5 for the data and 6 for the results.

## 2. DESCRIPTION OF AEROSOLS OPTICAL PROPERTIES

Aerosol particles with different properties originate from various sources (d'Almeida et al, 1991): sea-salt particles from the ocean, wind blown mineral particles (including desert dust), sulphate and nitrate aerosols resulting from gas to particles conversion, organic material, carbonaceous substances from biomass burning, and industrial combustions. Aerosols particles are characterized by their shape, their size, their chemical composition, and total amount, which in turn determine their radiative properties.

To a good approximation, the optical properties of a particle are determined by the refractive index  $n$  and by the size parameter  $x=2\pi r/\lambda$ , where  $r$  is the effective radius of the particle and  $\lambda$  the wavelength. The refractive index depends on the chemical composition of the particle and may be written  $n=n_r-i.n_i$ , where  $n_r$  and  $n_i$ , are the real and imaginary part of  $n$ , respectively. The real part determines a phase lag of the wave travelling through the medium, when the imaginary part describes the absorption. For non absorbing particles the refractive index is real. Common values of the real part of the refractive index generally used in calculations are: 1.33 for maritime aerosols, 1.44 for continental aerosols and 1.55 for urban and Saharan dust (d'Almeida et al., 1991).

The usual approach in remote sensing is to adopt a simple mathematical form for the size distribution of particles  $N(r)$  with a few adjustable parameters. Although it does not well describe the distribution of small particles, one of the most often used distribution is the Junge power law (Junge, 1963):





$$N(r) = Cr^{\alpha-3} \quad (1)$$

Where  $\alpha$  is the Angström coefficient and C a constant related to the total number of particles. In practice, the admissible values of  $r$  are truncated at both ends. This distribution yields a realistic wavelength dependency ( $\lambda$ ) of the aerosol optical thickness (AOT):

$$\frac{AOT(\lambda)}{AOT(\lambda')} = \left( \frac{\lambda}{\lambda'} \right)^{\alpha} \quad (2)$$

The value  $\alpha=0$  corresponds to large particles such as Saharan dust over arid region or maritime aerosols (Tanré et al., 1988; Holben et al., 1991), while large values of  $\alpha$  correspond to small particles such as smoke particles (Kaufman et al., 1992; Holben et al., 1991).

### 3. AEROSOL REMOTE SENSING ALGORITHM OVER DENSE DARK VEGETATION

The main difference of the two methods is the description of the surface. In order to describe the radiative transfer model of the atmosphere, it is necessary to specify the boundary condition at the Earth surface. If the surface is dark a simple Lambertian reflectance with a low albedo can be used. This is what is done in the DDV algorithms (Kaufman et al., 1997, Kaufman and Sendra, 1988). But it has been shown that properly selected DDV pixels are sparse (Borde et al., 2002), so other methods are required to extend the aerosol retrieval over brighter surfaces.

The photons, which enter the sensor, have different origins and a 6S-like signal decomposition is proposed (Vermote et al., 1995) in an attempt to formulate the different contributions in the simplest way:

- (i) the Rayleigh scattering,
- (ii) the aerosol scattering,
- (iii) the absorption by gases,
- (iv) the contribution of the surface, which depends directly on its reflectance

that is the useful component.

General principle of atmospheric correction process for SeaWiFS is mainly based on the scheme developed for MERIS (Santer et al., 1999, Ramon and Santer, 2001). The first step is applied to the top of atmosphere (TOA) reflectance for the correction of gaseous transmission, especially ozone.  $\rho_{ng}$  is the reflectance signal ignoring the gaseous absorption and  $T_g$  the gaseous transmittance, which can be evaluated from simulations of radiative transfer model.

The second correction is done for the Rayleigh molecular scattering effect. Schematically, the remaining signal  $\rho_{ng}$  is both constituted by a Rayleigh part  $\rho_R$  and an aerosol plus ground part  $T_R \cdot \rho_{ag}$ , where  $T_R$  is the Rayleigh transmittance and  $\rho_{ag}$  the signal of both aerosol layer and ground surface.  $T_R$  and  $\rho_R$  are evaluated from simulations of radiative transfer model, as a function of the surface pressure (so is the spherical albedo  $S_R$ , on which depends the estimation of  $\rho_{ng}$ ), and the geometrical conditions.

The aerosol type is determined over DDV pixels, where the ground reflectance is supposed to be known. From the blue and red top of aerosol reflectances, we can just expect to derive two information on the aerosol model such as the abundance on the atmospheric column, (or the optical thickness) and a parameter for the size distribution.

For SeaWiFS atmospheric correction process, 12 aerosol models were considered for the building of the aerosol scattering function Look Up Tables. They are defined by 4 values of





## INTERREG III-EXPER/PF

$\alpha$  (-0.0, -0.5, -1.0, and -1.5) and 3 values for the real part of the refractive index  $m$  (1.33, 1.44 and 1.55).

These models are close to those proposed for the POLDER ground segment, which will probably be used for MERIS aerosol climatology database. Assuming a Junge power law (Eq. 1), the phase matrix does not depend on wavelength, and the main parameter is the phase function. We generated phase functions into LUTs for the 12 aerosols models and 83 scattering angles. Thus, for a given aerosol model, we just need to model the dependence in  $\tau_a$ . The computation of the aerosol reflectance is based on the same idea as the Rayleigh reflectance, e.g. de-coupling primary and multiple scattering and use of a Fourier series expansion. The total transmission  $T_a$ , for the direct to direct path, is equal to  $T_a(\mu_s)$ .  $T_a(\mu_w)$ . For each aerosol model, we can extract  $T_a(\mu)$  from LUT's built with 6S radiative transfer code, for 12 zenith angles and 15 values of  $\tau_a$ .

For SeaWiFS sensor, the proposed aerosol remote sensing is performed over DDV. Dark Dense Vegetation is dark in the spectral bands where the chlorophyll absorption is strong. For SeaWiFS, they correspond to bands 412, 443 and 670 nm. The second property of the DDV is related to the structure of the canopy: at a microscopic scale, the light is partially reflected. This Fresnel reflection is quite white. The structure of a DDV canopy is such that the reflected light is trapped for most of the view directions except in the anti-specular direction (so-called hot-spot). These two properties lead to two possibilities for identifying DDV pixels: the use of an index based on the spectral behaviour of the reflectance, and the use of a threshold on the surface reflectance in the middle infrared channels where DDV appears dark and atmospheric effects are low (Vermote et al., 1994). We will focus here on the possibility to detect the DDV surfaces based on ARVI (Kaufman and Tanré, 1992), which uses the channels at 443, 670 and 865 nm. The advantage of this option is that it does not require any ancillary data. The ARVI was initially proposed and developed to be used for the remote sensing of vegetation from MODIS sensor (King et al., 1992). It is generally four times less sensitive to atmospheric effects than the currently used NDVI (Kaufman and Tanré, 1992).

The ARVI is defined as follows:

$$ARVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{rb}}{\rho_{NIR} + \rho_{rb}} \quad (3)$$

With

$$\rho_{rb} = \rho_r - \gamma(\rho_b - \rho_r) \quad (4)$$

Where  $\rho_b$ ,  $\rho_r$  and  $\rho_{NIR}$  are reflectances corrected for molecular scattering and gaseous absorption, observed respectively in the blue, red and near-infrared channels. A value of  $\gamma$  close to 1.3 corresponds to dark dense forests (Santer et al., 1999).

A pixel is identified as dark vegetation when its ARVI is greater than an ARVI threshold. The thresholds are computed versus geolocation and geometry for a set of DDV BRDF models (Borde et al, 2002).

SeaWiFS input images are L1B images. They consist of 8 calibrated radiances, the sun zenith angle, the view zenith angle and the relative sun-view azimuth. The image is navigated and according to SeaWiFS team with an accuracy of ~1 pixel. L1B images have been built at the laboratory from L1A HRPT Dundee files and with the SeaDAS v4.0 software with up-to-date calibration table. The algorithm has been coded in several sub-routines that allows to check intermediate outputs

Here is a list of the successive steps:

- Conversion from radiance to reflectance.

Janvier 2003

- 66 -





## INTERREG III-EXPER/PF

- Correction from the ozone absorption.
- Computation of the barometric pressure from the GLOBE 1km Digital Elevation Model and assumption of an exponentially decreasing pressure vertical profile with a scale height of 8 km and a pressure of 1012 hPa at  $z=0$ .
- Correction from the molecular scattering.
- Computation of the ARVI and selection of the DDV pixels.
- Aerosol inversion above DDV pixels.

All these steps are performed on a pixel basis. Now no spatial average is done for correction steps. The validation of the algorithm products has also been done, (Schmechtig et al., 2001), comparing retrieved aerosol products with in situ sunphotometer measurements of the Aerosol Robotic NETwork (AERONET) (Holben et al., 1998).

### 5. AEROSOL REMOTE SENSING USING IN-SITU SUN-PHOTOMETER MEASUREMENTS

When brighter surfaces are considered, the directional nature of the surface reflectivity needs to be taken into account, by means of a BRDF. The second method uses the RPV model (Rhaman et al, 1993) which is recommended for an appropriate characterization of the surface BRDF field. With the descriptions of the aerosols and the surface, assuming a value for the Angstrom coefficient and using a standard atmosphere in the radiative transfer codes, the sensor radiance can be simulated with four parameters: AOT and the three BRDF coefficients. In order to retrieve AOT from the satellite signal, one must therefore still specify the BRDF coefficients. The method doing this at a site by using a series of satellite data combined with a limited number of ground measurements of the AOT. An additional assumption is to consider that the BRDF does not change over the period considered. For days when the ground measurement of the AOT is available, the three BRDF parameters are then the only remaining unknowns and are determined as a result of a non-linear least mean square fitting of the satellite signal. In this process, the known illumination/viewing geometry for each day is taken into account. Consistently with the assumption of a constant surface BRDF, the retrieved BRDF parameters are then kept for any day, reducing the number of unknowns in the model to the sole AOT and thereby allowing its retrieval from the satellite signal alone (Borde and Verdebout, 2001). This scheme is illustrated in Figure 1.

Satellite data under clear sky conditions are selected when ground based measurements are available. The initial objective is to retrieve the surface reflectance in the selected satellite band (here at 550 nm) on a training data set representative of the various geometrical conditions of the satellite observations. In order to fasten the process, especially during the non-linear fitting procedure, pre-computed Look Up Tables (LUT) of sensor radiances were used. Sensor TOA radiances were generated for various geometrical and atmospheric conditions, and several Bi-directional Reflectance Distribution Functions, with a radiative transfer code.

The general Assumptions are:

- Midlatitude summer model
- Tropospheric aerosol model ( the continental model with  $\omega_0 = -1.0$  and  $m = 1.44$ )

Input parameters:

- Sun zenith angle (  $10 < \theta_s < 70$ )
- View zenith angle (  $0 < \theta_v < 80$ )

Janvier 2003

- 67 -



- Difference of azimuth ( $0 < \Delta\Phi < 180$ )
- Aerosol optical thickness ( $0 < \tau < 1.5$ )
- Rahman BRDF parameters ( $0. < \rho_0 < 0.25$ ;  $-0.9 < \Theta < 0.9$  ;  $0. < k < 1.$ )

The BRDF model is selected using a minimization technique between satellite TOA radiances and a simulated one using the training data set.

Then this BRDF model, assumed to be stable with time, is used to retrieve the TOA radiances at 550 nm with the aerosol continental model by determining the AOT.

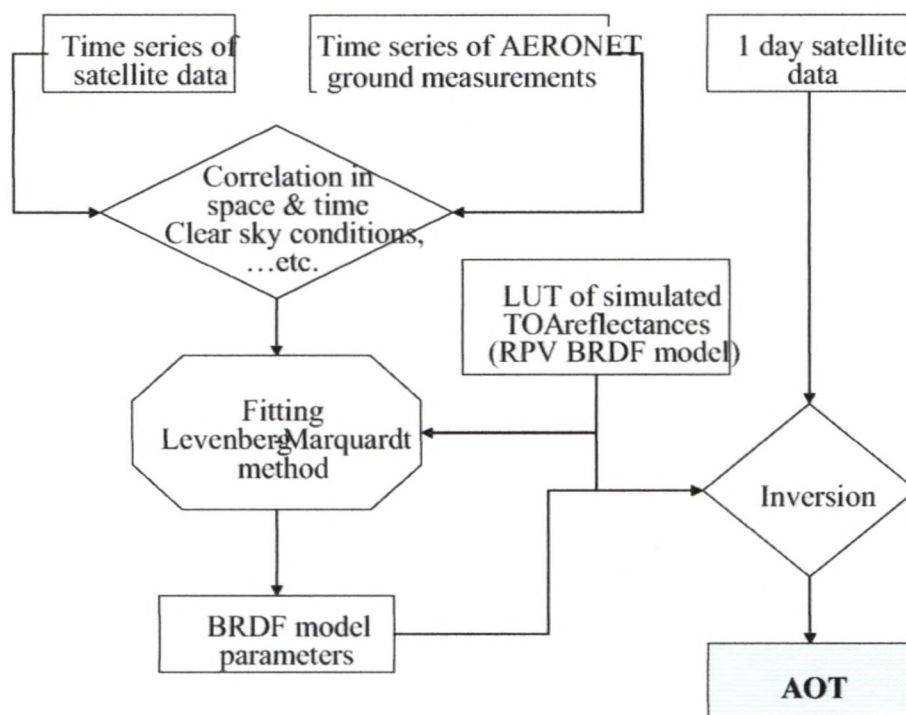


Fig. 1: General scheme of the estimation of aerosol optical thickness from satellite data using a surface reflectance model.

## 6. TEST CASES

In a first step, the correspondence between satellite and AERONET sun-photometer data was examined for the in situ measurements method. The study focused on European sites during the months of June, July and September 1999. A useful ground measurement needs the following conditions to be met: approximate simultaneity between satellite overpass and sun-photometer measurements (30 minutes before and after the overpass of the sensor), cloudless conditions, good and usable sun-photometer measurements. In the following, only measurements for which the aerosol optical depth does not vary very much during the considered hour were analyzed. The main criterion ensuring general consistency of the sun-photometer measurements during the studied period is that the standard deviation



to Junge power law model is less than 0.05. The fit was realised on the three first bands of the CIMEL, 440 nm, 670 nm and 870 nm.

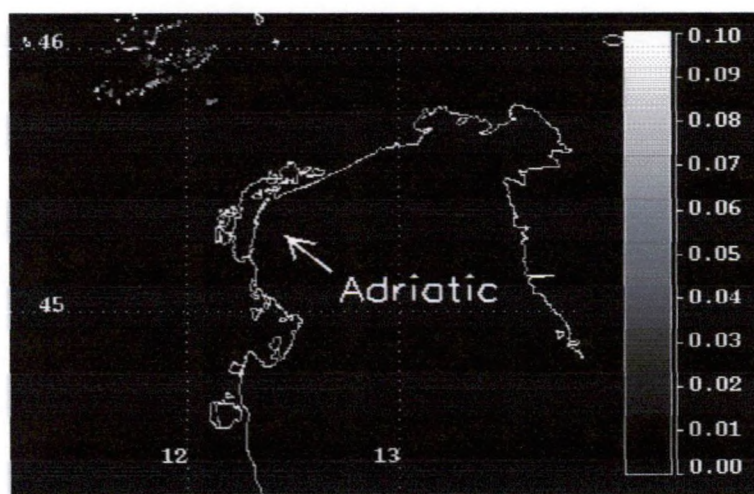
A sufficient number of such useful data were found for the following European sites: Toulouse in France, Ispra and Adriatic (Venice) in Italy. Cloudiness was the main factor reducing the number of usable days. The selected days present a large set of geometrical conditions: solar zenith angle varying from  $20^\circ$  to  $53^\circ$ , view zenith angle from  $1.9^\circ$  to  $60^\circ$  and relative azimuth from  $7^\circ$  to  $130^\circ$ . The aerosol optical thickness at 550 nm calculated from sun-photometer measurements vary from 0.05 to 1.5.

We applied the DDV aerosol retrieval algorithm on SeaWiFS sub-scenes data. The size of these sub-scenes is  $1.5^\circ$  of latitude by  $2^\circ$  of longitude around the ground-based sun-photometer site which represents an area of about  $150 \times 150$  km. For the DDV algorithm, we fixed the refractive index to 1.44 which represents continental aerosols. For the comparison of the two methods we made an average of the aerosol optical thickness and the Angstrom coefficient outputs of the DDV method for all the DDV pixels selected on SeaWiFS sub-scenes.

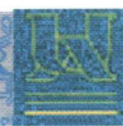
The two methods have been applied on 29 days for the Adriatic site, 13 days for the Ispra site and 9 days for the Toulouse site. From the sun-photometer climatology, these days cover a large range of Aerosol Optical Thickness, 0.085-0.468 for Adriatic, 0.066-0.63 for Ispra, 0.065-0.423 for Toulouse. For the characterization of the BRDF surface in the in-situ measurements method, 4 days were used in Adriatic, 5 days for Ispra and 3 days for Toulouse.

## 7. RESULTS

The Aerosol Optical Thickness product at 550 nm for DDV pixels around each test sites is shown on Figs. 2, 3, 4 and documented in table 1. For the Ispra site (Fig. 3), the DDV cover is well distributed around the in-situ sun photometer and we then have a good representativity of the aerosol content near the in-situ photometer. For the Adriatic site (Fig. 2), the DDV cover is weak and quite far from the in-situ photometer (at least 50 km at the North-West from the in-situ photometer). For Toulouse, the DDV cover is quite important in the Pyrenees Mountains, which is far from the in-situ photometer and so few representative of the aerosol content in the plain. Because we need to consider a quite large area in order to include a representative number of DDV pixels, the aerosol products are quite scattered both on the AOT as well as on the Angstrom coefficient as it can be seen in table 1.







## INTERREG III-EXPER/PF

Fig. 2: Aerosol Optical Thickness at 550 nm over DDV pixels from the DDV algorithm for a SeaWiFS sub-scene of Adriatic. Coastline is represented in white and the hint of the narrow represents the in-situ sun-photometer measurement.

Site	Day	DDV cover	<AOT(550nm)>	RMS_AOT	<Angstrom Coef.>	RMS_AC
Adriatic	205	1.3 %	0.067	0.038	-0.38	0.25
Ispra	205	10.7 %	0.069	0.06	-0.69	0.52
Toulouse	244	4.1 %	0.068	0.033	-0.59	0.44

Table 1: For the SeaWiFS scenes on Fig. 2 to 4, we reported the percentage DDV cover, the aerosol products and the associated standard deviation.

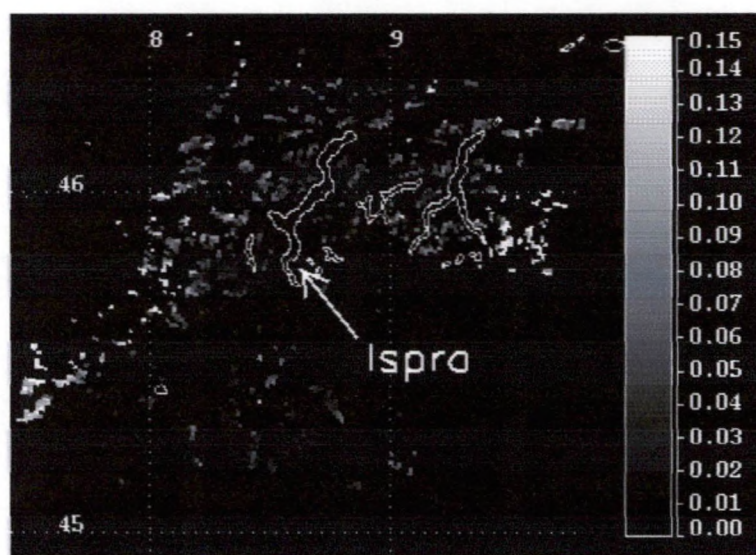


Fig. 3: Same as Fig. 2 but for Ispra. White lines represent the different lakes of North of Italy.

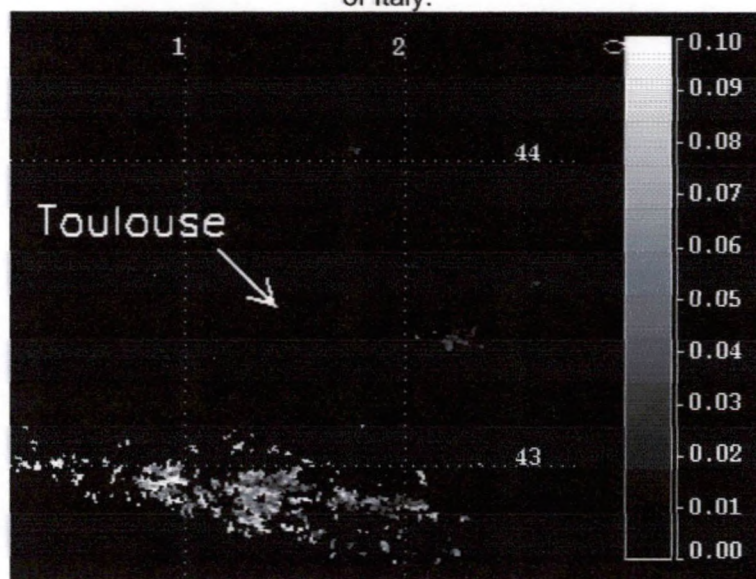


Fig. 4: Same as Fig. 2 but for Toulouse.



Figure 5 gives, for each site, the Angstrom coefficient derived from in situ CIMEL measurements versus those calculated from the DDV algorithm. The Angstrom coefficient from climatology has been calculated with the Eq. 2 and Aerosol Optical Thickness at 670 and 440 nm from AERONET. The Angstrom coefficient from DDV is an average of the Angstrom coefficient output from the DDV algorithm. This figure illustrates the difficulty to retrieve the Angstrom coefficient with the DDV algorithm. Both data sets suggest the same variability of Angstrom coefficient. Then one can take  $\alpha=1$  as for the in-situ measurements method. This value seems to be a good approximation for the Ispra and Toulouse sites but not so good for Adriatic for which small aerosols seem to dominate.

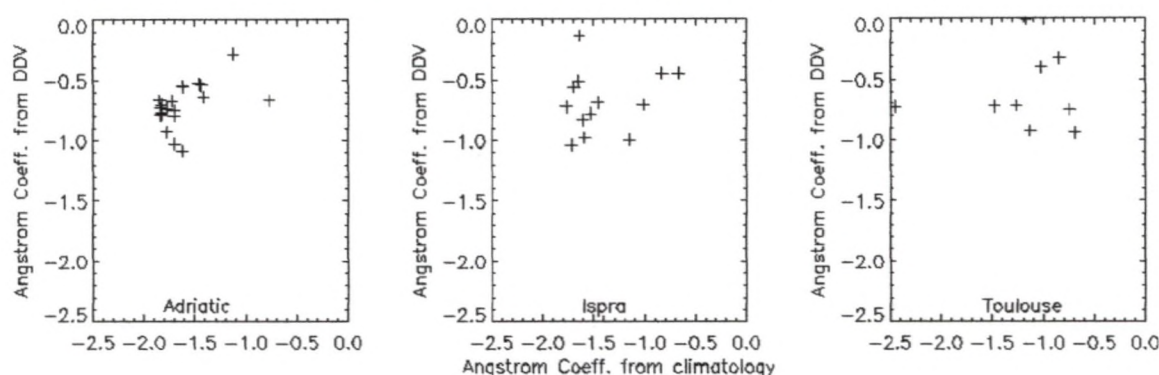


Fig. 5: Angstrom coefficient from in situ sun photometer measurements versus the products from the DDV algorithm.

The comparisons of the two methods are represented on figures 6, 7, 8 respectively for the Adriatic, Ispra and Toulouse sites. The data represented by stars are initially used to characterize the BRDF model for the in-situ measurements method. In this case, we expect to have small discrepancies which described the suitability of the BRDF model to describe the surface reflectances. The circles actually represent the outputs of the in-situ measurements method. By default, the AOT are set to zero. That's happened quite often on the Adriatic site certainly because the actual aerosol model does not correspond to the continental one. As we expect for the Ispra site, we have good agreement of the aerosol optical thickness retrieved with the DDV because the DDV cover is good. The agreement is not so good on the Adriatic and Toulouse site probably due to the distance between DDV pixels and the in situ photometer.

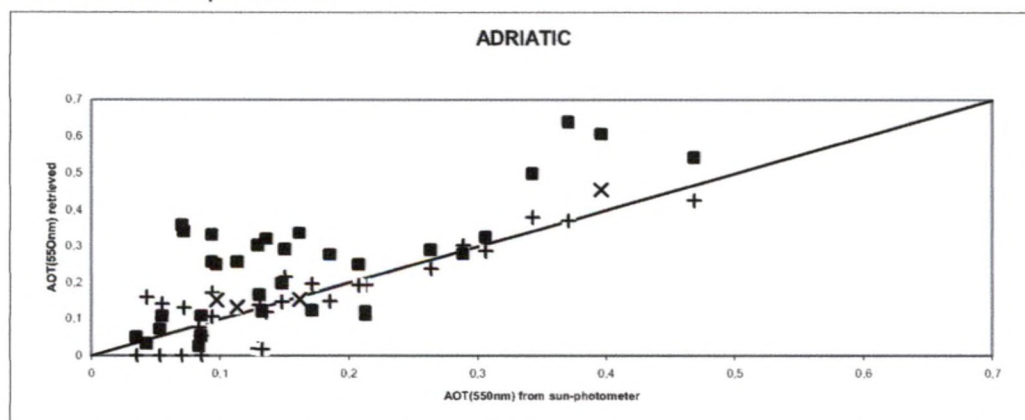


Fig. 6: comparison between AOT (550nm) from sun-photometer and those retrieved with two methods for Adriatic site. Crosses and plus indicate data that have or not been used for the fitting of surface characterisation in the in situ measurements method. Black squares indicate outputs from the DDV algorithm.

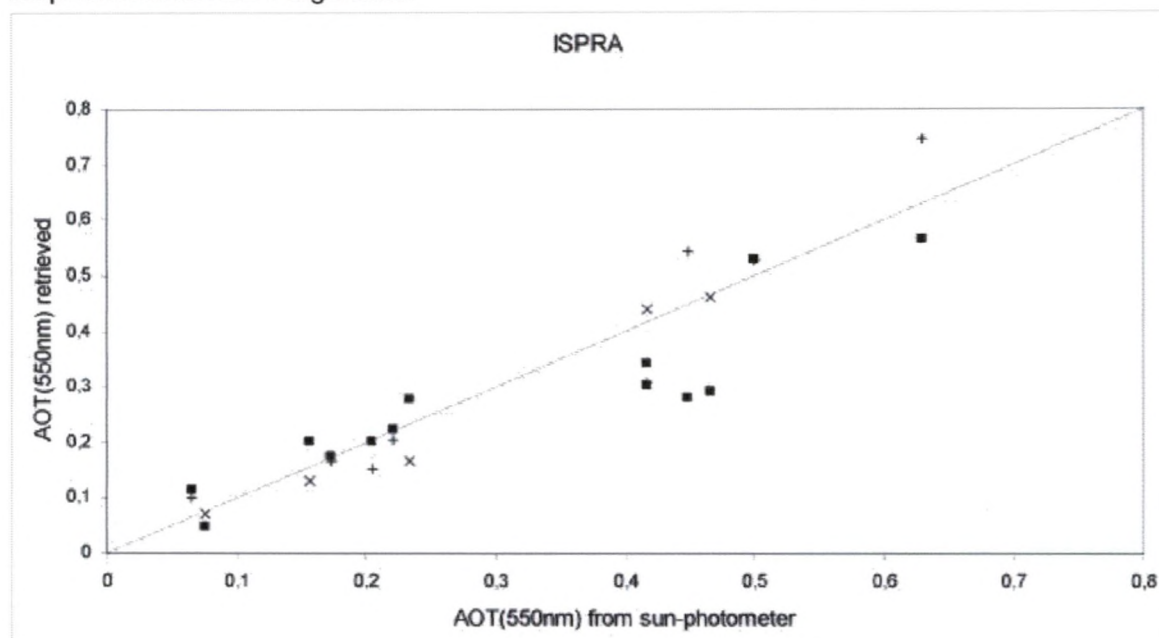


Fig. 7: Same as Fig. 6 but for Ispra.

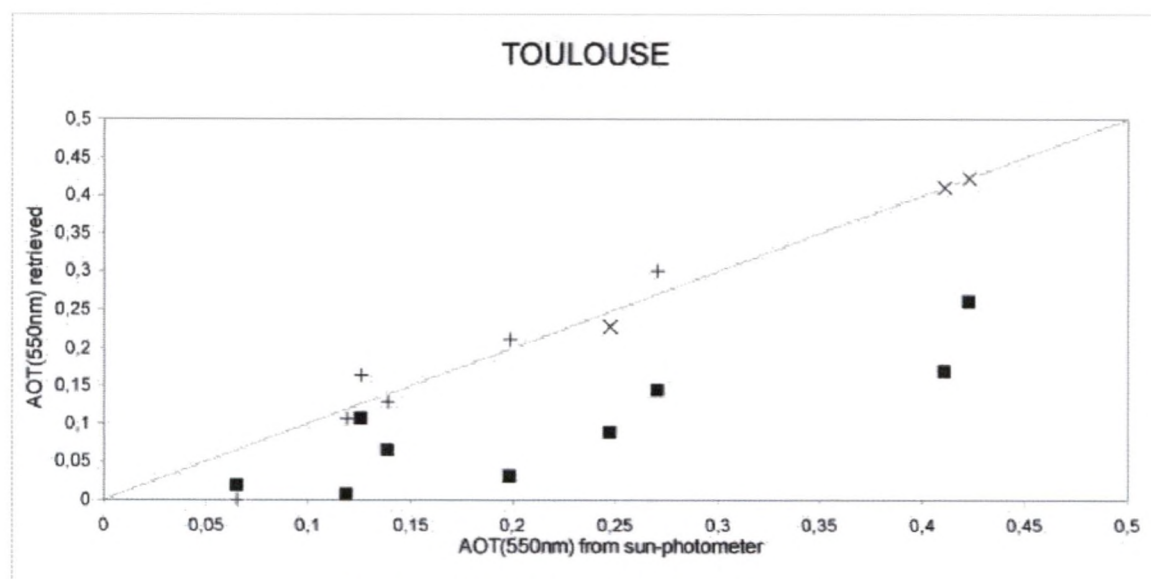


Fig. 8: Same as Fig. 6 but for Toulouse.

## 8. CONCLUSION

This paper describes two complementary methods to remote sense aerosols over land. The DDV approach is strongly limited by the number of DDV pixels. A more extensive analysis is reported in a companion paper by Ramon et al in this issue. The SeaWiFS sensor was





## INTERREG III-EXPER/PF

initially performed for ocean color. In order to avoid the sunglint, the instrument is tilted along track in the backward direction. That favors the hot-spot effect (perturbation due to the anti-specular direction of the reflection of the vegetation) in which the DDV reflectance is badly defined as well as the DDV pixel identification. This problem is certainly less critical for MERIS. Another way to improve the DDV cover on SeaWiFS images is the extension of the DDV concept above brighter surfaces (Borde et al., 2002) that have a lower ARVI. It is shown that these new targets have a reflectance in the red that is very well correlated with the ARVI, and a quite constant reflectance in the blue. The result is that aerosol optical properties are now retrieved over 10 % of the land area (where the nominal ARVI threshold gives less than 2 %) with little loss of accuracy compared to pure DDV. Nevertheless, it will be difficult to detect DDV pixels during winter time.

If the aerosols are characterized from the ground, it is then possible to perform accurate atmospheric corrections. On a time series, we have access to the BRDF model of the surface reflectance. This method requires ground based measurements of the aerosol optical properties. Thanks to Aeronet, we have access to a large data base of such data to get a substantial amount of reference targets on which we can generalize the second method. We certainly also need to use additional spectral bands in order to also characterize the aerosol model (size distribution). This method appears complementary to the DDV method because, if the spatial coverage needs to have in situ data, we can have a good temporal coverage on time stable targets.

More has to be done through an extensive study (using for example MERIS) in order to generate, on an operational basis, aerosol maps from Earth Observation data as a tool for air quality monitoring.

## ACKNOWLEDGMENTS

Thanks to the DAAC at the GSFC for the production and the distribution of the Level 1A SeaWiFS images. This work was supported by European Commission in a frame of the INTERREG EXPERT/PF project.

## REFERENCES

1. R. Santer, V. Carrere, Ph. Dubuisson, and J.C. Roger, "Atmospheric corrections over land for MERIS," *Int. J. Remote Sensing*, **20** no 9, pp. 1819-1840, 1999.
2. R. Borde and J. Verdebout, "Remote sensing of aerosols over land from VEGETATION and SeaWiFS", *Proceeding of SPIE 2001*, Toulouse, 2001.
3. Intergovernmental Panel on Climate Change. "Climate Change, 1995: The Science of Climate Change", edited by J.T. Houghton et al., Cambridge Univ. Press, New York, 1996.
4. Y.J. Kaufman, "Remote sensing of direct and indirect aerosol forcing in: Aerosol forcing climate," In R.J. Charlson and J. Heintzenberg, editors, *Aerosol forcing of climate*, pp. 297-332. John Wiley, New York, 1995.
5. Y.J. Kaufman and C. Sendra, "Algorithm for automatic corrections to visible and near-infrared satellite imagery", *International Journal of Remote Sensing*, **9**, pp. 1357-1381, 1988.
6. S.B. Hooker, W.E. Esaias, G.C. Feldman, W.W. Gregg, and C.R. McClain, "An Overview of SeaWiFS and Ocean Color. NASA Tech. Memo. 104566", **1**, S.B. Hooker and E.R. Firestone, Eds., NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 24 pp. , 1992.

Janvier 2003

- 73 -





## INTERREG III-EXPER/PF

7. G.A. d'Almeida, P. Koepke, and E.P. Shettle, "Atmospheric aerosols in Global Climatology and radiative characteristics", 240 pp., A. Deepak Hampton, Va., 1991.
8. C.E. Junge, "Air chemistry and radiochemistry". New York: Academic Press, 1963.
9. B.N. Holben, Y.J. Kaufman, A. Setzer, D. Tanre and D.E. Ward, "Optical properties of aerosol from biomass burning in the tropics, BASE-A", *Cambridge MA : MIT Press*, pp. 403-411, 1991.
10. Y.J. Kaufman and Tanré D., "Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS", *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*. **30**, 2, 1992.
11. Y.J. Kaufman, A. Wald, L.A. Remers, B.C. Gao, R.R. Li and L. Flynn, "Remote sensing of aerosol over continent with the aid of a 2.2mm channel", *IEEE Trans. on Geosci. Remote Sensing*, 1997.
12. R. Borde, D. Ramon, C. Schmechtig and R. Santer, "Extension of the DDV concept to retrieve aerosol properties over land from the Modular Optoelectronic Scanner sensor", *to be published in Int. J. of Remote Sensing*, 2002.
13. E. F. Vermote, D. Tanre, J.L. Deuze, M. Herman and J.J. Morcrette, "Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum (6S)", *User's guide* , 1995.
14. D. Ramon, and R. Santer, "Operational Remote Sensing of Aerosols over Land to Account for Directional Effects", *Applied Optics-LP*, **40** no 18, pp. 3060-3075, 2001.
15. E.F. Vermote, N. El Saleous, and J.C. Roger, "Operational atmospheric correction of AVHRR visible and near infrared data", *in Proceeding of the European Symposium on Satellite Remote Sensing*, **2311**, Rome, Italy, 26-30 September 1994 , 1994.
16. M.D. King, Y.J. Kaufman, P. Menzel and D. Tanré, "Determination of cloud, aerosol, and water vapor properties from the Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS)", *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*, **30**, pp. 2-27. , 1992.
17. C. Schmechtig , R. Borde, D. Ramon and R. Santer, "Validation of the atmospheric correction over land algorithm for the MOS sensor", *Proceedings of the 8th International Symposium Physical measurements and Signatures in Remote Sensing*. 8-12 January 2001, pp. 179-184, Aussois France. 2001.
18. B.N. Holben, T. F. Eck, I. Slutsker, D. Tanré, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y. J. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenue, I. Jankowiak and A. Smirnov, "AERONET-A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization". *Remote Sens. Environ.*, **66**, pp. 1-16. , 1998.
19. H. Rahman, B. Pinty and M. Verstraete, "coupled surface-atmosphere reflectance model 2 Semiempirical surface model usable with NOAA advance Very High Resolution Radiometer Data", *J. Geophys. Res.*, **98**, 20791-20801, 1993.





# **INTERREG III-EXPER/PF**

20. D. Ramon, J. Vidot, R. Santer, "MERIS level 2 products over land: present status and potential improvements of DDV detection and aerosol retrieval using SeaWiFS data", this issue.

[vidot@mren2.univ-littoral.fr](mailto:vidot@mren2.univ-littoral.fr); phone 33(0)3 21 99 64 15; fax 33(0)3 21 99 64 01 ; Université du Littoral Côte d'Opale, Maison de la Recherche en Environnement Naturel, 32 avenue Foch, 62930 Wimereux, France. ; [borde@jrc.it](mailto:borde@jrc.it); phone +39-0332-785034 ; fax +39-0332-785837 ; Joint Research Centre / Institut for Health and Consumer Protection – Physical and Chemical Exposure Unit, I-21020 Ispra (VA), Italy ; [santer@mren2.univ-littoral.fr](mailto:santer@mren2.univ-littoral.fr); phone 33(0)3 21 99 64 26; fax 33(0)3 21 99 64 01 ; Université du Littoral Côte d'Opale, Maison de la Recherche en Environnement Naturel, 32 avenue Foch, 62930 Wimereux, France.



## FIRST VALIDATION OF MERIS AEROSOL PRODUCT OVER LAND

Didier Ramon<sup>(1)</sup>, Richard Santer<sup>(2)</sup>, Jérôme Vidot<sup>(2,3)</sup>

1. HYGEOS, 191 rue N. Appert, 59650 Villeneuve d'Ascq, France, dr@hygeos.com

2. Université du Littoral Côte d'Opale, MREN, Av. FOCH, 62930 Wimereux, France,  
[santer@mren2.univ-littoral.fr](mailto:santer@mren2.univ-littoral.fr)

3. ADRINORD, 21 rue des canoniers, 59800 Lille

### ABSTRACT

The detection of Dense Dark Vegetation (DDV) using the Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) and then the aerosol retrieval over DDV are the critical points of the land part of the processing of MERIS images implemented in the level 2 processor. We present here the first validation attempt of the MERIS aerosol product over land by checking its consistency and comparing it to AERONET data. We also applied an in-house version of the algorithm to L1B data in order to study the sensitivity of the algorithm to important parameters such as the ARVI thresholds and aerosol refractive index. SeaWiFS L1B images are also used to anticipate what will be the DDV cover throughout the year for Europe. This first validation exercise is promising and shows that the DDV approach is satisfactory in spring and summer. More extensive work is required for a full validation.

**Keywords:** Aerosol Remote Sensing, ENVISAT/MERIS, SeaWiFS, Dense Dark Vegetation, Atmospheric corrections over land

### 1. INTRODUCTION

We were in charge of defining an algorithm for correcting MERIS images over land from atmospheric effects and providing the associated aerosol product. The image correction process itself consists of the correction from gaseous absorption and the correction from the molecular scattering. There is no correction for the aerosol scattering. However there is a further aerosol retrieval module and an accurate determination of the surface pressure from the reflectances in the oxygen absorption bands. All steps are based on simplified formulations of the signal in order to ease inversion of Top Of Atmosphere (TOA) reflectances [1].

Gaseous absorption is separated from the rest. This correction requires integrated values of gas content in the atmospheric column (mainly water vapour and Ozone) values generally available from the climatology. The Rayleigh correction is well defined and only requires knowledge of barometric pressure. This first estimation is performed via a Digital Elevation Model and the hypothesis of hydrostatic equilibrium for the lower atmosphere. Aerosol characterisation is primarily based on the inversion of the signal over dark targets for a set of standard aerosol models (here the 12 models used for POLarization and Directionality of the Earth Reflectance (POLDER). Reference to the aerosol climatology is mandatory to set the refractive index. Remaining aerosol optical thickness and slope of the Junge size distribution are determined from specific observations over Dense Dark Vegetation in the blue (412 and 443 nm) and in the red (665 nm). DDV pixels are detected using a spectral index: the Atmospheric Resistant Vegetation Index (ARVI) [2].

A pixel is flagged as DDV when its ARVI is greater than the ARVI threshold. This one is extracted from a LUT, as function of DDV model, geographical location, seasons and



geometrical conditions. Standard values for DDV reflectances at 412 nm, 443 nm and 665 nm are proposed in order to retrieve the aerosol scattering functions and finally provide the aerosol product over land [3] which consists in the Aerosol Optical Thickness (AOT) at 865 nm and in the epsilon factor ( $\epsilon$ ) which is defined as the ratio of the aerosol path reflectance at 753 and 865 nm. The last output of the L2 land algorithm for MERIS is an accurate estimation of the barometric pressure from differential absorption of several close channels in the  $O_2 A$  absorption bands. The ratio of TOA reflectances in those close channels are directly linked to the barometric pressure with empirical relationships and correction factors for the absorption scattering coupling effects. First examples of this product are given in a companion paper [4]

This paper is the first attempt to evaluate the quality of the aerosol product over land through: (i) consistency checks and (ii) preliminary validations. These two tasks are conducted directly on the level 2 as delivered by ESA. Then using an in-house prototype, we will conduct a sensitivity study going more deeply into the algorithm. Finally, a statistical study is proposed through the development of a level 3 product. Illustration of the DDV cover is done from SeaWiFS imagery.

## 2. QUALITY CHECKS

### 2.1 Consistency

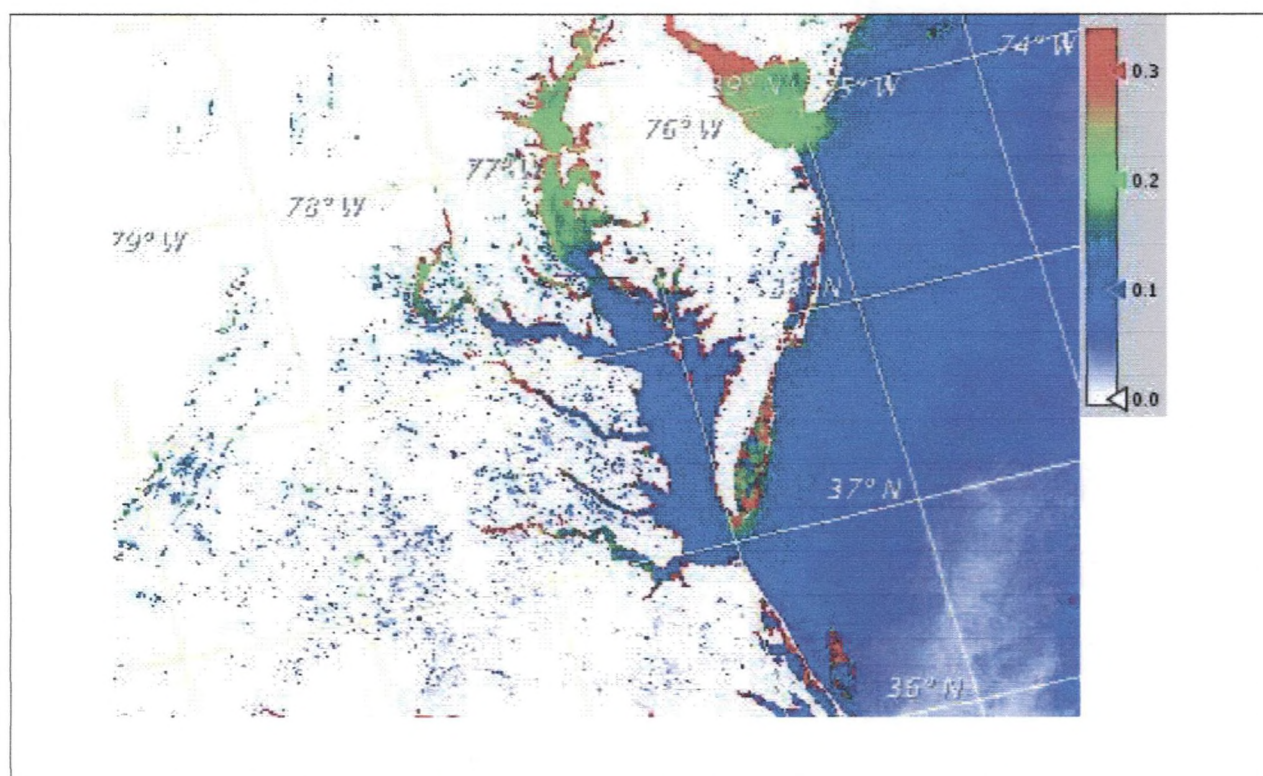


Fig 1. Aerosol Optical Thickness at 865 nm in the Chesapeake Bay on 23 October 2002 from L2 MERIS product. That day a coincidence with AERONET site in GSFC (39N ; 76W) occurs.



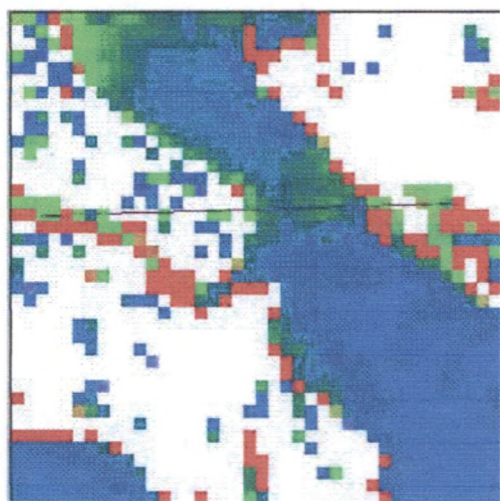
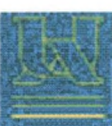


Fig. 2. Zoom into the central part of the image of Fig. 1. Illustration of the land/water continuity of the AOT

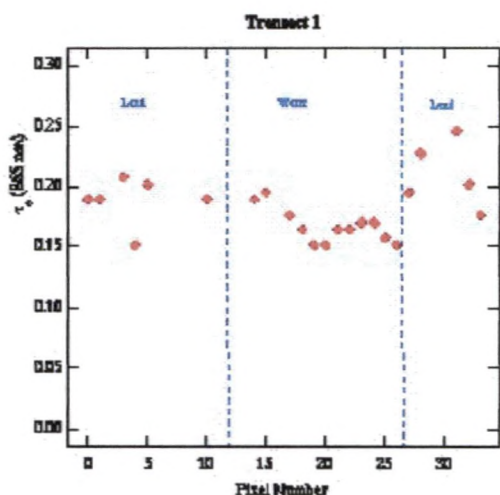


Fig. 3. Transect of the AOT as described in Fig. 2.

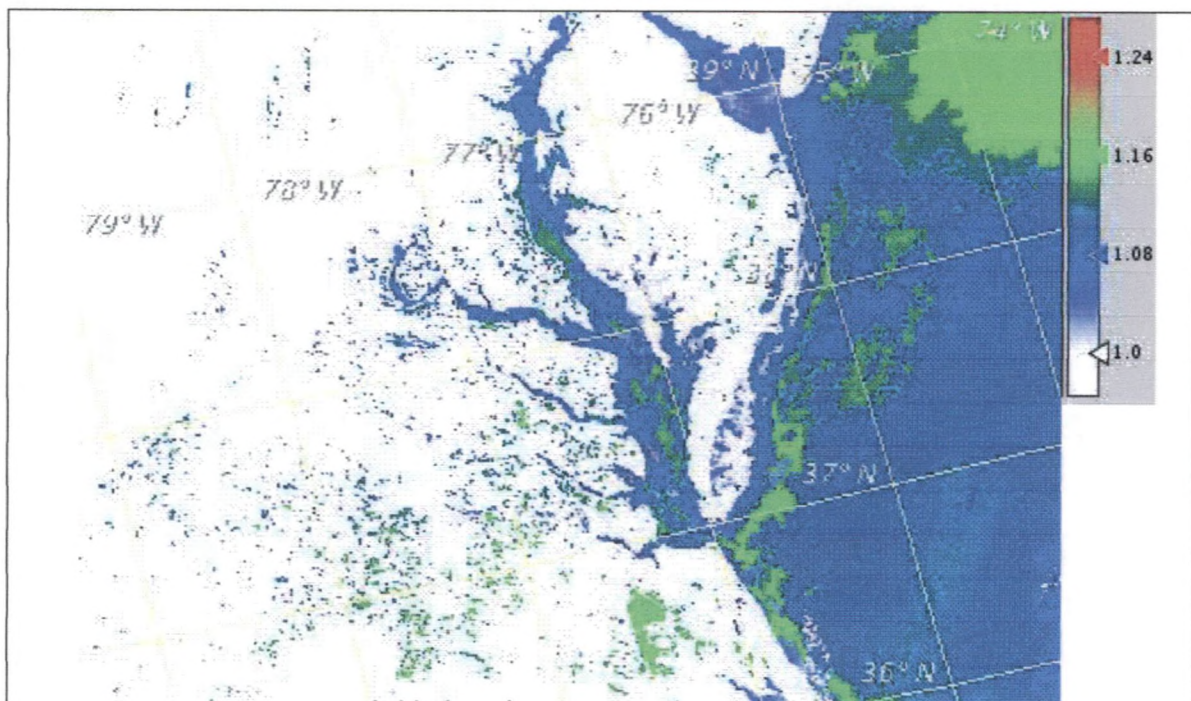


Fig. 4: Aerosol epsilon factor for the same scene as Fig. 1

We analysed an image acquired on 2002-10-23 over the US east coast near the AERONET GSFC site. The AOT at 865 nm (Fig. 1) gives a good impression at first glance. The order of magnitude is OK and the spatial distribution of the aerosol doesn't exhibit too large variation. The consistency between the land and water algorithm is good except of course over highly



turbid water and for pixels just at the land water interface. If we zoom into (Fig.2 and 3) a central region with two land/water borders, we see a good indication of the consistency of the retrieved AOT. For the epsilon factor (Fig. 4), things are more complex. The order of magnitude is also OK but it shows some rapid changes and large zone with a constant values. This is mainly due to the computation method itself which is directly related to the aerosol model selected by the aerosol retrieval scheme (4 models only).

## 2.2 First validation

We compared the AOT at 865 nm for few coincidences with AERONET data for two zones (GSFC and North Italy) (Figure 5 and 6). This is a very first attempt since only four points are available. The error bars represents the spatial dispersion of MERIS data in a zone of 10 pixels around the AERONET site and an estimation of the temporal variability of the AERONET measurements. In case on cloud free cases (GSFC and Villefranche) the agreement is good. It becomes a bit noisy for the remaining two points since it was a day with high aerosol variability and frequent clouds overpass.

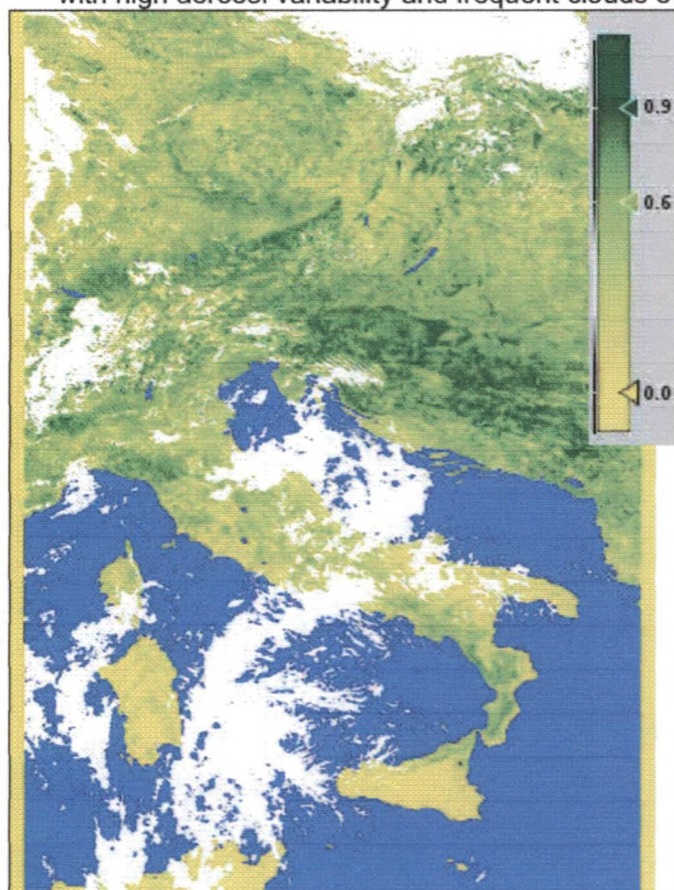


Fig. 5. ARVI map from a MERIS scene over Italy on 03 august 2002, 9H33 UT, and AERONET site location with coincident measurements ((1)Villefranche 43N, 7E; (2)Venise 45N, 12 E; (3)Ispra 45N, 8E)

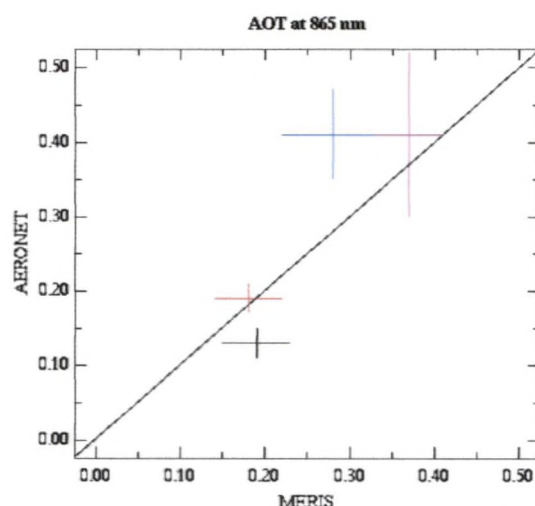


Fig. 6. Early validation of AOT at 865 nm combining results at GSFC (black) , Villefranche (red) , Venice (magenta) and Ispra (blue) AERONET site.



### 3. SENSITIVITY STUDY

We took advantage of an in-house version of the L2 algorithm to process L1B images and study the influence of various parameters on the aerosol product. We focus here on two : (i) the ARVI of the DDV classified pixel and (ii) the choice of the aerosol refractive index which is at the moment set to 1.44 everywhere. The L1B image taken for this study is the one shown in Fig. 5.

#### 3.1. Sensitivity to the ARVI

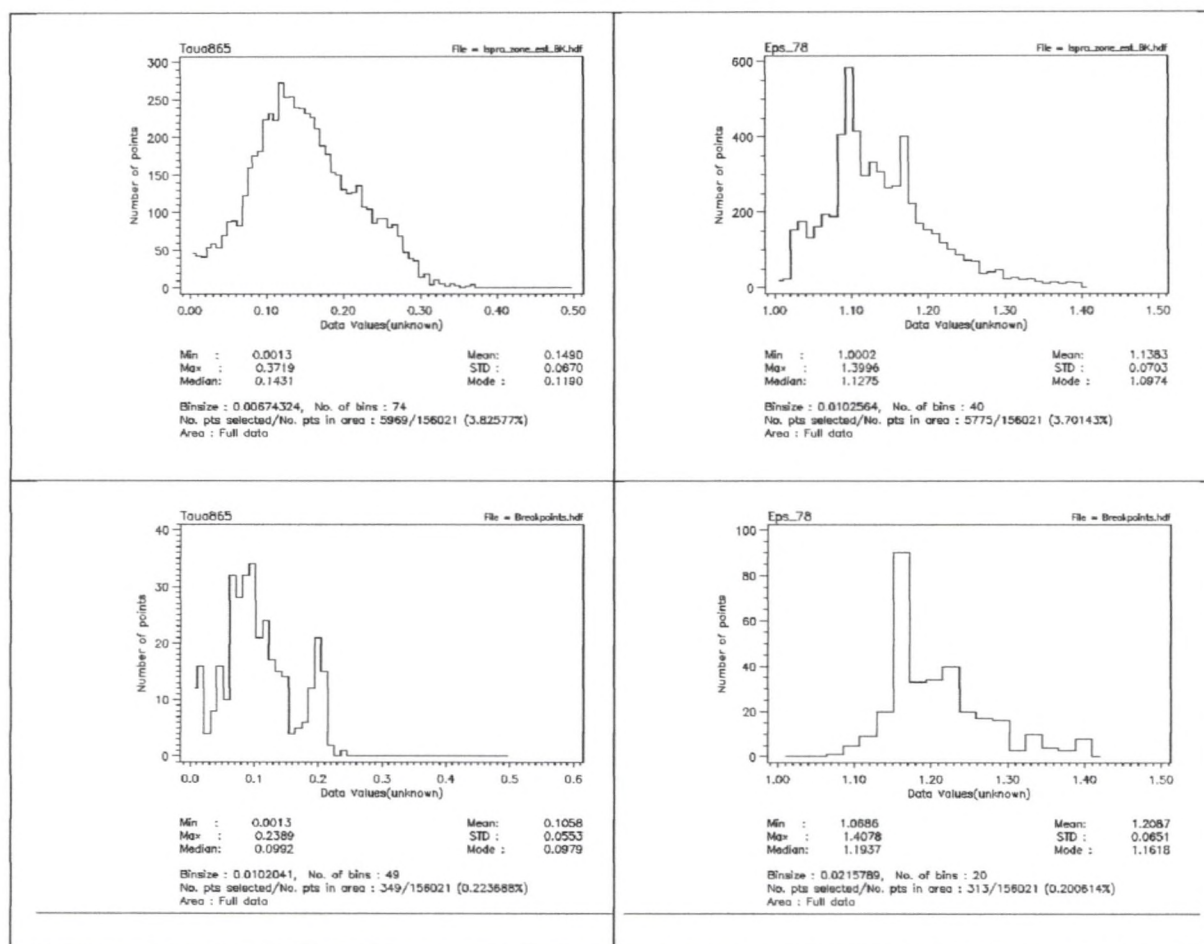
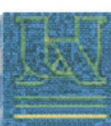


Fig. 7. (Top) Histograms of the L2 aerosol product for the image corresponding to Fig. 5 for all DDV pixels, (Bottom) Same as for top but only for DDV pixels whose ARVI is greater than nominal thresholds +0.07.

Fig. 7 summarises a general tendency observed for many other MERIS images and also for other sensors like SeaWiFS or MOS [5]: As ARVI decreases below a certain value the AOT increases and the retrieved aerosol model corresponds more and more to larger particles. This is explained by Fig. 8. where we plotted the retrieved aerosol path reflectance over DDV at two wavelength where DDV is the darkest 670 and 443 nm. The chlorophyll absorption is higher in the blue compared to the red, the reflectance in the blue remains quite constant when the ARVI decreases and thus there is no correlation between ARVI and aerosol path reflectance. Conversely, the vegetation reflectance increases in the red when the vegetation





## INTERREG III-EXPER/PF

is less dense or less green (as ARVI decreases since ARVI is a good indicator of darkness). Therefore the increase of the aerosol path reflectance in the red is just a bias which should be corrected either in (i) applying a corrective method to be defined or (ii) increasing the ARVI thresholds stored in the level 2 processor Look Up Tables.

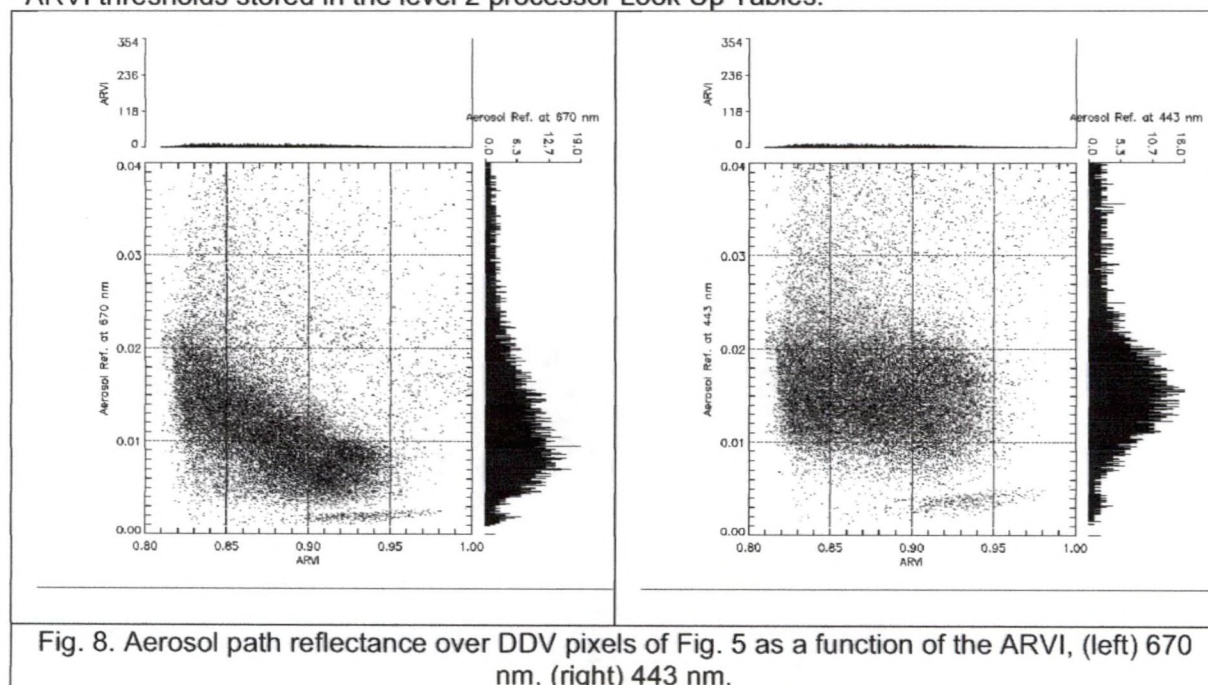


Fig. 8. Aerosol path reflectance over DDV pixels of Fig. 5 as a function of the ARVI, (left) 670 nm, (right) 443 nm.

### 3.2 Sensitivity to the aerosol refractive index

At the moment the aerosol refractive index is set to 1.44 everywhere. It corresponds to a continental aerosol model. We processed the same image with 1.55 and results are shown in Fig. 9. Once again the tendency shown by this figure is representative of many other scenes. The  $\epsilon$  factor is insensitive to this choice as the impact of the change of the refractive index on the aerosol scattering functions is almost spectrally neutral. However the AOT is sensitive as the aerosol phase function in the backscattering geometry varies significantly with the refractive index. Here for 1.55 (urban/industrial absorbing aerosol model) the phase function is generally lower than for 1.44 and thus the retrieved AOT is higher. The AOT distribution over that particular scene is broader for 1.55 than for 1.44 and this may indicate that this refractive index is not well adapted to the situation.



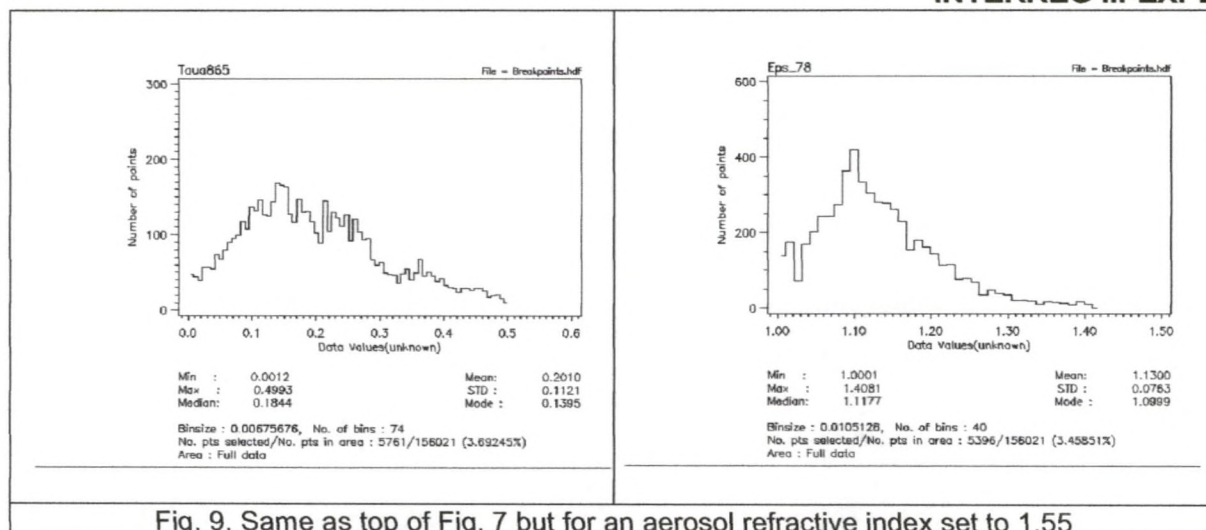


Fig. 9. Same as top of Fig. 7 but for an aerosol refractive index set to 1.55

#### 4. STATISTICAL ANALYSIS OF DDV COVER

As we have not yet covered all seasons with MERIS, we examined what we can expect in term of DDV area cover from SeaWiFS. We applied a MERIS like algorithm to SeaWiFS data and we focus here on the DDV flagging aspect.

##### 4.1 A level 3 product for SeaWiFS

SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) provides data since the beginning of 1998 and exhibits good radiometric quality and data services. It has been chosen at the laboratory for the building of a medium spatial resolution, visible and near infrared image database. The data acquired correspond to the High Resolution Picture Transmission (HRPT) format that is direct SeaWiFS broadcast at full resolution (~ 1 km at nadir) over particular reception sites. Here Dundee University reception site was chosen as it runs without interruption since 1998 and covers most of Western Europe. Both widths and central wavelength of the bands are very similar and little adaptation of the atmospheric Look Up Tables (LUT's) was necessary. The spatial resolution at nadir is of the same order if one takes High Resolution Picture Transmission (HRPT) data for SeaWiFS and reduced resolution L1B product for MERIS. The main difference is the geometry because SeaWiFS avoids sun glint (and therefore look in the hot spot direction above land) whereas MERIS does not. SeaWiFS input images are L1B images. They consist of 8 calibrated radiances, the sun zenith angle, the view zenith angle and the relative sun-view azimuth. The image is navigated and according to SeaWiFS team with an accuracy of ~1 pixel. Concerning the computational aspect, the algorithm is fully coded in IDL in order to be compliant with the SeaDAS software. It allows an easy comparison with the ocean product and makes visualising and saving results easy.

Tab. 1. DDV occurrence on 4 SeaWiFS high resolution images acquired in 2000 for different seasons (from the HRPT station of the University of Dundee). Cloud and DDV covers are calculated by averaging the result of the high resolution pixel classification over 16x16 pixels boxes. Then the DDV fraction is calculated by counting the number of super-pixel with DDV cover greater than a minimum value (here 2 %) and dividing by the number of land super-pixels. This calculation is done for cloud free, a maximum of 50% and 80 % of cloud cover for the super-pixels. For each image, DDV statistics are given for five ARVI thresholds starting





## INTERREG III-EXPER/PF

from the nominal MERIS values and decreasing down to the nominal values minus 0.2. We will first examine what is the state of the aerosol product with nominal ARVI threshold and then see how it is possible to keep a good quality of that product when allowing lower ARVI to be considered as DDV.

Image	Land super-pixel Number	Cloud free fraction	<50% cloud cover fraction	<80% cloud cover fraction	ARVI Thresh. decrease	>2% DDV cover fraction (cloud free)	>2% DDV cover fraction (<50% cloud cover)	>2% DDV cover fraction (<80% cloud cover)
(1) S 2000 day : 051 11 : 22 UT	6364	0.347	0.547	0.663	0.00	0.000	0.003	0.009
					-0.05	0.000	0.005	0.013
					-0.10	0.000	0.007	0.020
					-0.15	0.001	0.014	0.033
					-0.20	0.009	0.035	0.064
(2) S 2000 day : 134 12 : 11UT	8730	0.293	0.513	0.596	0.00	0.038	0.070	0.081
					-0.05	0.072	0.130	0.152
					-0.10	0.108	0.184	0.216
					-0.15	0.151	0.244	0.283
					-0.20	0.175	0.281	0.325
(3) S 2000 day : 225 12 : 33 UT	6886	0.239	0.503	0.619	0.00	0.043	0.083	0.102
					-0.05	0.038	0.110	0.142
					-0.10	0.054	0.157	0.202
					-0.15	0.067	0.194	0.254
					-0.20	0.080	0.224	0.297
(4) S 2000 day : 316 12 : 44 UT	4762	0.247	0.520	0.644	0.00	0.000	0.001	0.005
					-0.05	0.000	0.003	0.009
					-0.10	0.001	0.008	0.017
					-0.15	0.007	0.026	0.041
					-0.20	0.023	0.060	0.085

## 4.2 Results

Among the 3 year of SeaWiFS data, we have chosen 4 images acquired during 2000 over Europe for different seasons. On Table 1 is summarised the analysis of the spatial and temporal variability of DDV cover. It is confirmed that, using nominal ARVI thresholds (ARVI threshold decrease =0) that have been computed for real dark vegetation and standard atmospheric condition, it is possible to detect significant DDV area in spring and summer. In the case of DDV observed in cloud free conditions, one can expect to get 4-5 % of DDV cover in average. If we accept also DDV zones which are embedded in a cloudy environment, then DDV cover reaches 10 %. This is quite acceptable and allows for example, to be confident on the potential aerosol scattering corrections that can be done to the Rayleigh corrected reflectance (the actual MERIS level 2 surface reflectance product). However, in autumn and winter there are very few DDV zones, at best 1% and in cloudy conditions. Things go better if the ARVI threshold is decreased a bit, but from what we know from Section 3, it is at the cost of an increase of the bias on the aerosol product.

## 5.CONCLUSION

The first quality checks on MERIS aerosol products appear quite reasonable in terms of spatial continuity and values are in the expected range. Validation points are too few to really validate the products. The DDV detection with ARVI works well but it seems that ARVI thresholds needs to be adjusted as DDV disappears late fall in some regions. Moreover, it appears that the aerosol optical thickness increases with ARVI and that the epsilon factor

Janvier 2003





## INTERREG III-EXPER/PF

decreases with ARVI (leading to an aerosol model with larger particles) are significantly sensitive to ARVI. The epsilon factor is not well scattered around the 4 values corresponding to the aerosols models. The AOT at 865 nm product looks very encouraging even if it's not the optimal wavelength for aerosol characterisation above DDV.

### ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the European Space Agency and the EC through the EXPER/PF Interreg3 program. Authors want to thank particularly NASA DAAC, the University of Dundee and Orbimage for providing the SeaWIFS data. We thank also Brockmann Consult for the efficient delivery of MERIS data as well as for the early access to the MERIS toolbox beta version. We thank PIs of AERONET instruments used in this report, B. Holben, G. Zibordi, and F. Cabot.

### REFERENCES

1. Santer, R., V. Carrère, P. Dubuisson and J.C. Roger, "Atmospheric corrections over land for MERIS". *Int. J. Remote Sensing*, vol. 20, no 9, 1819-1840, 1999.
2. Kaufman, Y.J. and Tanré D., "Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30, 261-270, 1992.
3. Ramon, D., and R. Santer, "Operational Remote Sensing of Aerosols over Land to Account for Directional Effects", *Applied Optics-LP*, 40, 3060-3075, 2001.
4. Ramon, D., R. Santer and P. Dubuisson, "First validation of MERIS surface pressure", this issue.
5. Borde, R., D. Ramon, C. Schmechtig and R. Santer, "Extension of the DDV concept to retrieve aerosol properties over land from the Modular Optoelectronic Scanner sensor", accepted in *Int. J. Remote Sensing*, 2001.





INTERREG III-EXPER/PF

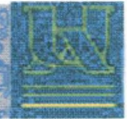
## ANNEXE 7

### LISTE DES MEMBRES DE LA COMMISSION « PARTICULES ET SANTE » DE L'APPA

<b>BENARD</b> Francis - .....	CR APPA Basse-Normandie
<b>BERNILLON</b> Pascale - .....	Service des Etudes Médicales EDF/GDF
<b>BOUSCAREN</b> Rémy - .....	CITEPA
<b>BROCHARD</b> Patrick - .....	Laboratoire Santé Travail Environnement
.....	Université Bordeaux2
<b>COLLAY</b> Roland .....	APPA Lyon
<b>DECHENAUX</b> Jacques .....	CR APPA Dauphiné-Savoie
<b>DERBEZ</b> Mickaël .....	APPA
<b>DURAND</b> René .....	CR APPA Nouvelle Calédonie
<b>FESTY</b> Bernard .....	APPA
<b>FILLEUL</b> Laurent .....	Laboratoire Santé Travail Environnement -
.....	Université Bordeaux2
<b>FONTAN</b> Jacques .....	CR APPA Midi-Pyrénées Laboratoire d'Aérologie
<b>FONTELLE</b> Jean Pierre .....	CITEPA
<b>FURON</b> Daniel .....	CR APPA Nord-Pas-de-Calais
<b>GARRON-MARCON</b> Françoise .....	CR APPA Toulon
<b>GRIMALDI</b> Frédérique .....	CR APPA Marseille-Provence
<b>HENRIET</b> Alain .....	PSA Citroën
<b>HENRY</b> Yvon .....	CR APPA Franche-Comté
<b>JEANBLANC</b> Jacques .....	CR APPA Lorraine
<b>KOCHMAN</b> Serge .....	CR APPA Champagne-Ardenne
<b>KOPFERSCHMITT-KUBLER</b> Marie-Christine .....	CR APPA Alsace
<b>LIEUTIER-COLAS</b> Florence .....	CR APPA Alsace
<b>LIVERTOUX</b> Marie-Hélène .....	Centre du Médicament de Nancy
<b>MALRIEU</b> Valérie .....	CR APPA Nord-Pas-de-Calais
<b>MAZOUÉ</b> Sophie .....	RATP
<b>MEYER</b> Martine .....	Maison RENAULT
<b>PARFAIT</b> Christine .....	RATP
<b>PINEAU</b> Alain .....	CR APPA Pays de Loire
<b>PIRON-FRENET</b> Maryvonne .....	CR APPA Pays de Loire
<b>POURQUIER</b> Marcel .....	CR APPA Languedoc-Roussillon
<b>RAMBAUD</b> Jean-Marie .....	APPA
<b>RITTER</b> Philippe CR .....	APPA Lyon
<b>ROUSSEL</b> Isabelle .....	APPA
<b>SCHADKOWSKI</b> Corinne .....	CR APPA Nord-Pas-de-Calais
<b>TYMEN</b> Georges .....	CR APPA Bretagne-Nord
<b>VINCENT</b> Denis .....	CHU de Nîmes
<b>YTHIER</b> Christian .....	CR APPA Nice-Côte d'Azur
<b>ZMIROU</b> Denis .....	Unité INSERM 420

Janvier 2003

- 85 -



## ANNEXE 8

### ORDRE DU JOUR DES REUNIONS DE LA COMMISSION « PARTICULES ET SANTE »

#### Jeudi 24 janvier 2002 :

- Communication de Madame PARFAIT (RATP) concernant **"La qualité de l'air dans les enceintes souterraines de la RATP"**.
- Présentation de l'état d'avancement des synthèses thématiques suivantes :
  - **Terminologie des particules** (BENARD F, FONTAN J, TYMEN G)
  - **Caractéristiques physiques des particules** (FONTAN J).

#### Lundi 22 avril 2002 :

- Discussion sur les documents de synthèse concernant la **terminologie** et les **caractéristiques physiques des particules**.
- Communication de Madame SAMBAT (CITEPA) concernant **"L'inventaire national des émissions de particules primaires et comparaison des résultats à ceux de quelques autres pays"**.
- Discussion sur les documents de synthèse
- Questions diverses : Présentation du projet EXPER/PF (APPA Nord-Pas de Calais)

#### Lundi 18 novembre 2002 :

- Présentation de Monsieur PERSON (LHVP): **"Approche méthodologique pour la caractérisation des particules en suspension"**.
- Présentation de Monsieur HENRIET (PSA) sur deux rapports concernant les **émissions particulières des véhicules**
- Discussion sur les documents de synthèse en cours : **Mesurage des particules, etc.**
- Discussion sur le document du **CITEPA** à paraître dans la rubrique «Nouvelles de l'APPA» de la revue Pollution Atmosphérique





INTERREG III-EXPER/PF

## ANNEXE 9

### Programmes des Séminaires du CITEPA et PRIMEQUAL Particules

#### JOURNEE D'ETUDES CITEPA, Le 22/10/02

##### « Emissions diffuses et fugitives : la fin d'un mystère, le début d'une norme »

Proposition de définition des mots « diffus » et « fugitifs » - Tour d'horizon des différentes techniques de quantification des émissions diffuses et fugitives  
**Rémy Bouscaren** (CITEPA)

Méthodes de mesure et /ou d'estimation des émissions de COV  
**Yvette Girardeau** (RHODIA)

Pratique de la quantification des émissions fugitives de tuyauteries dans la pétrochimie  
**François de Borman** (EXXONMOBIL)

Réduction des COV ; synthèse des plans d'action proposés par l'industrie chimique, pétrochimique et du raffinage dans les Bouches du Rhône  
**Jean-Pierre Ulasien** (DRIRE OACA)

Méthode basée sur l'analyse du bilan matière entrée-sortie  
**Nadine Allemand** (CITEPA)

Estimation des émissions de COV par les stockages et les manutentions de liquides volatils  
**Pierre DEPRET** (SOLVAY SA)

Position du problème aux USA et au Canada  
**Jean-Luc Allard** (SNC-LAVALIN – Canada)

Mesure in-situ des émissions des poussières et de composés organiques semi-volatils en sidérurgie – utilisation de traceur  
**Philippe Le Louër** (LECES)

Emissions de Cadmium autour d'un site métallurgique  
**Marc Durif** (INERIS)

Détermination des émissions diffuses et fugitives d'ammoniac et de COV par modélisation inverse: cas de l'agriculture et des stations service – possibilités et limites  
**Klaus Schaefer** et **Stepfan Emeis** (Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Umweltforschung)

Amélioration de la méthode Tier 2 du Giec pour la quantification des émissions de fluides frigorigènes HFC  
**Denis Clodic**, **Lionel Passandre** et **Assaad Zoughaib** (Ecole des Mines de Paris)



## INTERREG III-EXPER/PF

Travaux de normalisation du CEN (Comité Européen de Normalisation)

**Ferdinand Hencks** (EUROFER / Luxembourg)

Estimation des émissions diffuses et fugitives en vulcanologie

**Jean-Christophe Sabroux** (IRSN – Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire)

Estimation des émissions diffuses et fugitives dans les ambiances de travail

**Jean-Michel Dessagne** (INRS – Nancy)

### SEMINAIRE PRIMEQUAL PARTICULES

Le 21/11/02

Sources extérieures de particules atmosphériques

**Jean-Luc Ponche** (LPCA Strasbourg)

Sources intérieures de particules atmosphériques – Particules inertes et biologiques

**Séverine Kirchner** et **Stéphanie Gauvin** (CSTB)

Métrologie des particules atmosphériques : la mesure des caractéristiques de l'aérosol liées aux impacts locaux et régionaux

**Jean-Philippe Putaud** (JRC Ispra)

Physico-chimie et transport de Particules atmosphériques

**Christian George** (LACE Lyon)

Impacts sur la santé des particules atmosphériques : aspects toxicologiques

**Francelyne Marano** (LEPC Jussieu)

Impacts sur la santé des particules atmosphériques : aspects épidémiologiques

**Isabella Annesi-Maesano** (INSERM U 472)

Impacts sur les écosystèmes des particules atmosphériques

**Pierre Cellier** (INRA Grignon)

Impacts sur le patrimoine bâti des particules atmosphériques

**Roger Lefevre** (LISA)

Les actions menées par l'EPA

**Petros Kourakis** (Harvard School of Public Health Boston)





INTERREG III-EXPER/PF

## ANNEXE 10

Liste des communications présentées lors des journées thématiques

### JOURNEE INTERDISCIPLINAIRE QUALITE DE L'AIR VILLENEUVE D'ASCQ – 23 MAI 2002

#### COMMUNICATIONS ORALES

Modélisation intra-urbaine de la dispersion de polluants

**G. Maignant**

Brise de mer et brise de terre en basse-normandie. Mécanismes climatiques et risques de pollution atmosphérique en milieu littoral et urbain

**A. Dudouit**

Absorption infrarouge par diodes laser accordables. Application à la mesure de polluants atmosphériques non réglementés

**S. Dusanter, B. Hanoune, B. Lemoine, P. Devolder**

La télédétection des aérosols.

**N. Bellouin, O. Boucher**

Métrologie des particules fines en suspension par télédétection spatiale

**J. Vidot et R. Santer**

Formation de « dioxines » en phase gazeuse dans l'oxydation thermique du 2-chlorophénol

**C. Briois, N. Visez, C. Baillet et J-P. Sawerysyn**

Capteurs chimiques de benzène à base de matériaux à nano-porosité structurée

**T. Truong, G. Ledoux, T. Tran-Thi, D. Grosso, C. Sanchez**

Evaluation d'un échantillonneur passif nouvelle génération pour la mesure du dioxyde d'azote et application à la mesure de l'exposition personnelle

**A. Piechocki-Minguy, H. Plaisance, J.-C. Galloo, R. Guillermo**

Intérêt de la prise en compte de l'ozone dans une étude de biosurveillance des métaux d'origine atmosphérique. Cas d'expérimentations à court terme et *in situ* (Moselle, France) avec le lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. transplanté.

**J. Signoret, S. Ayrault, J.F. Ferard, S. Muller et C. Van Haluwyn**

Concertation et décision dans les dispositifs de planification de la loi sur l'air

**S. Frère**

#### COMMUNICATIONS PAR POSTERS

Janvier 2003

- 89 -



## INTERREG III-EXPER/PF

Mesure de la qualité de l'air par la technique LIDAR

**P. Augustin**

Les mousses bioindicatrices de la qualité de l'air : Leur utilisation dans la surveillance des dépôts métalliques

**S. Gombert et S. Leblond**

Le programme "mousses / métaux " en France

**S. Leblond et S. Gombert**

Impact d'une usine d'incinération d'ordures ménagères sur la qualité de l'air ambiant : résultats préliminaires.

**M. Le Floch**

Pollution atmosphérique particulaire et métaux lourds : caractérisation des sources

**M. Le Floch et Y. Noack**

Cinétique d'incorporation de composés organiques volatils oxygénés dans les surfaces liquides aqueuses

**G. Leyssens, J. Decottignies, F. Louis et J.-P. Sawerysyn**

Conception, validation et exploitation d'un cadastre d'émissions des polluants atmosphériques sur la région Nord-Pas-de-Calais

**Y. Martinet, A. Wroblewski, V. Nollet et C. Kergomard**

Impact environnemental d'une pollution atmosphérique particulaire par le cadmium

**Y. Noack\*, M. Le Floch, C. Alary, M. Ferez, S. Despiau et D. Robin**

Caractérisation des poussières sédimentables sur l'agglomération mulhousienne au cours de l'hiver 2001

**J. Rauch , G. Trouve, E. Roth et L. Delfosse**

Etude spectroscopique UV d'aldéhydes aromatiques

**N. Sokolowski - Gomez, A. Chakir et D. Daumont**

### SIG ET CARTOGRAPHIE DANS LE DOMAINE DE L'AIR VILLENEUVE D'ASCQ – 20 JUIN 2002

Introduction – Gestion de la qualité de l'air et SIG

**Isabelle Roussel**

Qu'est-ce qu'un SIG : application à la climatologie urbaine et à la pollution atmosphérique

**Claude Kergomard** – Université des Sciences et Technologies de Lille (USTL)

De l'inventaire des émissions au cadastre

**Yann Martinet**

Observations météorologiques et sorties de modèle

**Pierre Leriche**

Janvier 2003

- 90 -





## INTERREG III-EXPER/PF

Les difficultés de la cartographie classique

**Charles Beaugard**

L'intégration des informations indirectes à la cartographie géostatistique des polluants

**Michel Bobbia**

Les différents niveaux d'informations géocodées nécessaires, et leur articulation. Présentation de SIGALE, SIG de la Région Nord-Pas de Calais

**Alain Pruvost**

Application d'un SIG de qualité de l'air : l'exemple de l'ASPA

**Gilles Perron**



INTERREG III-EXPER/PF

## ANNEXE 11

CONFERENCE ADEME/APPA – POLLUTEC 2002

POLLUTION ATMOSPHERIQUE PARTICULAIRE :  
"VRAI PROBLEME OU ECRAN DE FUMEEES"  
QUELLES CLEFS POUR LA PREVENTION ?

MERCREDI 27 NOVEMBRE 2002 14H00 -18H00

**Président de séance : François SAVOIE (ADEME- Délégation régionale)**

Introduction - Connaître et mesurer  
**Christian ELICHEGARAY** (ADEME - Département Air)

Eléments caractéristiques sur la physico-chimie des particules.  
**Jacques FONTAN** (APPA)

Surveillance et techniques de mesurage des particules : L'état des lieux en France  
**Rémy STROEBEL** (ADEME)

La mesure de l'exposition : intégrer les différents environnements  
**Yvon LEMOULLEC** (LHVP)

Effets sur la santé : le point des différentes approches et l'état des connaissances.  
**Denis VINCENT** (APPA)

**Président de séance : Philippe RITTER (APPA Lyon)**

Introduction - Maîtriser les émissions  
**A. MORCHEOINE** (ADEME - Direction air et transports)

Efficacité des filtres à particules à partir d'évaluations sur bus, taxis G7, poids lourds, bennes à ordures ménagères.  
**Gabriel PLASSAT** (ADEME)

Etude d'impact sanitaire prototype d'une source fixe  
**Pierre-André CABANES** (SEM EDF/GDF)

Les réglementations : élaboration et perspectives d'évolution  
**Patricia BLANC** (MEDD)





**INTERREG III-EXPER/PF**